

Saku Nieminen

UUSIUTUVAN ENERGIAN
VAIHTOEHDOT SUOMENNIEMEN
KOULUKESKUKSEN
ENERGIANHANKINNASSA

Opinnäytetyö
Talotekniikka


Huhtikuu 2016




MAMK

University of Applied Sciences

KUVAILULEHTI

		Opinnäytetyön päivämäärä
Tekijä(t) Saku Nieminen		Koulutusohjelma ja suuntautuminen Talotekniikan koulutusohjelma
Nimeke Uusiutuvan energian vaihtoehdot Suomenniemen koulukeskuksen energianhankinnassa		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön tarkoituksena oli vertailla ja valita Suomenniemen koulukeskukselle uusi uusiutuvaan energiaan pohjautuva lämmitysratkaisu nykyisen öljylämmityksen tilalle. Vertailtavia lämmitysratkaisuja olivat pellettilämmitys, maalämpö ja ilma-vesilämpöpumppu. Lisäksi opinnäytetyössä tarkasteltiin viereiselle kiinteistölle, toimintakeskus Metsätähdelle aurinkoenergia- ja aurinkosähköratkaisua, joiden tarkoituksena oli lisätä uusiutuvien energialähteiden osuutta kiinteistön energiankulutuksessa. Tarkasteltavana oli myös molempia kiinteistöjä palvelevat maalämpö- ja pellettiratkaisut, joilla tuotettaisiin koulukeskuksen kokonaislämmitysenergian tarpeen lisäksi toimintakeskuksen lämmin käyttövesi.</p> <p>Tarkasteltavien lämmitysratkaisujen taloudellisuutta tarkasteltiin takaisinmaksuajan menetelmällä. Koska erityisesti kevyen polttoöljyn hinta oli historiallisen alhaalla, tehtiin järjestelmien takaisinmaksuajoille herkkyystarkastelut. Herkkyystarkastelussa tutkittiin energian hintojen- ja investointitukien muutosten vaikutuksia takaisinmaksuaikoihin investointien keskinäiseen kannattavuuteen.</p> <p>Koulukeskukselle tarkastelluista erillisratkaisuksista taloudellisesti kiinnostavimmaksi todettiin maalämpö, jonka korottomaksi takaisinmaksuajaksi saatiin 11 vuotta. Toimintakeskus Metsätähden aurinkolämpöratkaisun osalta on järkevää, että investointia ei toteuteta ennen uuden lämmitysjärjestelmän valintaa. Aurinkosähköratkaisu puolestaan todettiin järkeväksi investoinniksi, mutta ei kiireelliseksi toteuttaa. Koulukeskuksen ja Metsätähden tarkastelluista yhteisratkaisuksista lyhin takaisinmaksuaika, yhdeksän vuotta, saavutettaisiin maalämmöllä, jota suositellaan kiinteistöjen uudeksi lämmitysratkaisuksi. Investoinnin toteuttaminen tulee ajankohtaiseksi lähivuosien aikana nykyisten öljykattiloiden tullessa käyttöikänsä päähän.</p>		
Asiasanat (avainsanat) Öljylämmitys, pellettilämmitys, maalämpö, ilma-vesilämpöpumppu, aurinkoenergia, aurinkosähkö, uusiutuva energia, nettosäästöt, takaisinmaksuaika, herkkyystarkastelu		
Sivumäärä 51+3	Kieli Suomi	URN
Huomautus (huomautukset liitteistä)		
Ohjaavan opettajan nimi Jarmo Tuunanen		Opinnäytetyön toimeksiantaja Mikkelin kehitysyhtiö Miksei Oy

DESCRIPTION

		Date of the bachelor's thesis
Author(s) Saku Nieminen		Degree programme and option Building services
Name of the bachelor's thesis Renewable energy options for the Suomenniemi school's energy procurement		
Abstract <p>The purpose of this bachelor's thesis was to choose for Suomenniemi school a new heating system which utilizes renewable energy. Options were pellet heating, geothermal energy and air -to-water heat pump. To the neighboring building, Metsätähti were examined solar energy and solar power. The aim was to add the proportion of renewable energy in energy consumption of the building. In the work was also examined a common geothermal energy system which is enough to heat both buildings and also a common pellet heating system. The purpose of common pellet heating system was to produce the school's total heating energy and Metsätähti's hot water.</p> <p>Profitability and economy of the systems were examined by payback times. Because the price of light fuel oil was historical low, were sensitivity analysis made for payback times. Sensitivity analysis was meant to examine how payback times and investments mutual profitability's change when energy prices and investment subsidies change.</p> <p>For school the most interesting choice was geothermal energy whom interest-free payback time was 11 years. Metsätähti's solar energy system will not implement before the new heating system has been chosen. Solar power system was found to be profitable but not urgent to implement. For common systems the shortest interest-free payback time, nine years was achieved with geothermal energy. Geothermal energy as a new heating system is recommended when oil boilers of both buildings will be the end of their lifetime and the investment is up to date</p>		
Subject headings, (keywords) Oil heating, pellet heating, geothermal energy, air -to-water heat pump, solar energy, solar power, renewable energy, the net savings , payback time, sensitivity analysis		
Pages 51+3	Language English	URN
Remarks, notes on appendices		
Tutor Jarmo Tuunanen		Bachelor's thesis assigned by Mikkelin kehitysyhtiö Miksei Oy

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	1
2	KIINTEISTÖJEN UUSIUTUVAAN ENERGIAAN POHJAUTUVIA LÄMMITYSRATKAISUJA	2
2.1	Pellettilämmitys	2
2.2	Maalämpö	3
2.3	Ilmavesilämpöpumppu	3
2.4	Aurinkoenergia	4
2.5	Aurinkosähkö.....	4
3	TARKASTELTAVIEN KOHTEIDEN JA VAIHTOEHTOJEN KUVAUS	5
3.1	Suomenniemen koulukeskus	5
3.2	Toimintakeskus Metsätähti	6
3.3	Kiinteistöjen todelliset energiankulutukset.....	7
3.4	Lämpötehon pysyvyyskäyrät	10
3.5	Tarkasteltavat lämmitysratkaisut	11
4	KIINTEISTÖKOHTAINEN TEKINEN TOTEUTUS JA INVESTOINTIKUSTANNUKSET	12
4.1	Suomenniemen koulukeskus	13
4.1.1	Pellettilämmitys	13
4.1.2	Maalämpö	16
4.1.3	Ilma-vesilämpöpumppu	19
4.2	Toimintakeskus Metsätähti	20
4.2.1	Aurinkoenergia	20
4.2.2	Aurinkosähkö.....	22
4.3	Yhteisratkaisut	25
4.4	Investointikustannukset	27
5	KANNATTAVUUSTARKASTELU	29
5.1	Vuotuiset nettosäästöt	30
5.1.1	CO ₂ -päästöt	32
5.2	Takaisinmaksuajat	33
5.3	Herkkyystarkastelu ja pohdinta	38
6	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	46

6.1	Yhteenveto	46
6.2	Johtopäätökset.....	47
	LÄHTEET	49

LIITTEET

- 1 Pellettilämmityksen kustannuslaskuri
- 2 Aurinkolämpöjärjestelmän mitoitusesimerkki
- 3 Aurinkosähköjärjestelmän mitoitusesimerkki

1 JOHDANTO

Työn toimeksiantajana on Mikkelin kehitysyhtiö Miksei Oy. Aiheen taustalla toimii Miksei Oy:n koordinoima Biosaimaa-klusteri, joka toteuttaa Etelä-Savon bioenergia-alan kehittämisohjelmaa. Kehittämisohjelma pyrkii lisäämään ekotehokkuutta käyttämällä paikallisia polttoaineita alueellisessa energiantuotannossa, jolloin fossiilisten polttoaineiden ja ostoenergian määrä vähenee ja alueen houkuttelevuus kasvaa.

Työn taustalla on myös Mikkelin tilakeskus, joka hallinnoi Mikkelin kaupungin omistuksessa olevia kiinteistöjä. Suomenniemen kunta liittyi osaksi Mikkelin kaupunkia vuonna 2013, jolloin Suomenniemen kunnan kiinteistöt siirtyivät tilakeskuksen hallinnoitaviksi. Tästä johtuen vuoden 2013 kulutustietoja ei ollut kokonaisuudessaan saatavissa, joten työssä tarkastellaan vain vuosien 2014 ja 2015 kokonaiskulutuksia. Koska useissa kaupungin kiinteistöissä käytetään lämmitykseen joko öljyä tai sähköä, hakee tilakeskus aktiivisesti teknistaloudellisesti kannattavia ratkaisuja fossiilisten polttoaineiden korvaamiseksi uusiutuvilla energialähteillä hallinnoimissaan kiinteistöissä. Suomenniemelle on jo aiemmin kaavailtu alueellisen kaukolämpöverkoston rakentamista Etelä-Savon Energia Oy:n toimesta, mutta hanke ei ole edennyt hajallaan olevan potentiaalisen kiinteistömassan vuoksi. Koska kyseistä hanketta ei ole mahdollista toteuttaa, niin työssä jätetään mahdollinen kaukolämmön tarkastelu kokonaan huomioimatta.

Tällä hetkellä potentiaalisimmaksi uusiutuvan energian käyttökohteeksi on noussut Suomenniemen koulukeskus, jossa on käytössä öljylämmitys. Koulukeskuksen vieressä sijaitsee myös öljylämmitteinen ja tilakeskuksen hallinnoima toimintakeskus Metsätähti, johon on jo toteutettu ilma-vesilämpöpumppuratkaisu.

Työn tavoitteena on selvittää Suomenniemen koulukeskukselle teknistaloudellisesti kannattavin uusiutuvan energian hyödyntämiseen perustuva energianhankintaratkaisu. Käytännössä tämä tarkoittaa kokonaan uuden lämmitysjärjestelmän hankkimista, jolloin koulukeskuksen kohdalla mahdollisia vaihtoehtoja olisivat pellettilämmitys, maalämpö ja ilma-vesilämpöpumppu. Toimintakeskus Metsätähden energianhankintaratkaisussa keskitytään uusiutuvan energian käyttöasteen lisäämiseen käytössä olevan öljylämmityksen rinnalla. Tässä tapauksessa kysymykseen lähinnä tulevat aurinkoenergia ja aurinkosähkö. Myös mahdollista molempia kiinteistöjä palvelevaa lämmitysjär-

jestelmää tarkastellaan. Uusia lämmitysratkaisuja tarkastellaan niiden investointikustannusten, vuotuisten nettosäästöjen sekä takaisinmaksuaikojen perusteella, joilla selvitetään järjestelmien kannattavuus. Tavoitteena on, että työn tulosten perusteella tilakeskus voi tulevaisuudessa tehdä päätöksiä mahdollisen investointiprojektin käynnistämisestä.

Työ toteutetaan opinnäytetyönä yhteistyössä Mikkelin kehitysyhtiö Miksei Oy:n, Mikkelin tilakeskuksen ja Mikkelin ammattikorkeakoulun kesken. Ennen työn aloittamista pidettiin tapaaminen, johon osallistuivat kaikkien tahojen edustajat. Opinnäytetyössä tullaan vertailemaan eri energianhankintajärjestelmien kannattavuuksia sekä toteutusmahdollisuuksia.

2 KIINTEISTÖJEN UUSIUTUVAAN ENERGIAAN POHJAUTUVIA LÄMMITYSRATKAISUJA

Kiinteistöjen uusiutuvaan energiaan pohjautuvat energianhankintaratkaisut kasvattavat suosiotaan. Vanhoissa öljylämmitteisissä rakennuksissa vanhan lämmitysjärjestelmän uusiminen on yhä ajankohtaisempaa. Tässä luvussa esitellään yleisimpiä kiinteistöjen uusiutuvaan energiaan pohjautuvia lämmitys- ja energianhankintaratkaisuja.

2.1 Pellettilämmitys

Pellettilämmitys on nykyään yhä useamman öljylämmittäjän valinta, kun mietitään öljylämmityksestä luopumista. Suomessa on jo yli 28000 kiinteistössä käytössä pellettilämmitys, ja määrä on yhä kasvussa /12/. Pellettilämmityksessä käytettävät pelletit ovat kotimaista sekä uusiutuvaa energiaa. Palaessa syntyy hiilidioksidiapäästöjä, mutta vapautuva hiilidioksidi on jo puiden ilmakehästä aiemmin sitomaa hiilidioksidia, joka vain vapautuu uudelleen ilmakehään. Pelleteillä on myös suuri lämpöarvo, 4,7 MWh/t /5, s.2/. Siirtyminen öljylämmityksestä pellettilämmitykseen ei yleensä edellytä kattilahuoneessa suurtakaan remonttia, sillä pellettikattila on ulkomitoiltaan hyvin öljykattilaa vastaava. Joissain tapauksissa öljykattila saattaa sopia pellettikattilaksi, kun öljypoltin vaihdetaan pellettipolttimeksi. Toimivin ratkaisu saadaan kuitenkin käytettäessä erityisesti pelletin polttoon tarkoitettua kattilaa, jossa on riittävän suuri tulipesä ja vesitilavuus ja jonka nuohous ja tuhkanpoisto on helppo suorittaa /3, s.7/. Pellettilämmitykseen

siirryttäessä on kuitenkin muistettava huomioitava pellettisiilon tai muun vastaavan vaatima tilantarve. Rakennuksesta riippuen pellettivarasto voi sijaita rakennuksen sisällä tai ulkopuolella. Pellettien varastoiminen ilman, että ne jäätyvät tai homehtuvat on kuitenkin helppoa, koska pellettien kosteuspitoisuus on alle 10 % /3, s.4/. Varastoimisessa on huomioitava myös paloturvallisuus, jonka toteuttamiseksi on tarkkoja ohjeita, varsinkin jos kattilahuone ja pellettivarasto sijaitsevat samassa tilassa. Pellettilämmitys on myös hyvin varmatoiminen ja riittää suurenkin kiinteistön lämmittämiseen. Silti on tärkeää kytkeä ns. varajärjestelmä, joka tarkoittaa esimerkiksi sähkövastusta.

2.2 Maalämpö

Maalämpö on nopeasti yleistynyt kiinteistöjen lämmitysmuoto, joka kasvattaa yhä suosiotaan varsinkin uudisrakennuksissa. Maalämpöpumppu soveltuu mainiosti myös saneerauskohteisiin, toki hieman kohteesta riippuen. Joskus alkuperäisen lämmitysjärjestelmän mitoituslämpötilat saattavat olla liian korkeat maalämmölle, jolloin joudutaan vaihtamaan uudet paremmin lämpöä luovuttavat patterit, mikä lisää investoinnin kustannuksia. Tämä on tärkeää huomioida lämmitysjärjestelmää vaihdettaessa. Maalämpö soveltuukin parhaiten matalille mitoituslämpötiloille, jolloin se toimii parhaalla hyötysuhteella. Kohteen sijainnilla on suuri vaikutus lämmönkeruuputkiston sijoitustapaan. Jos ei ole mahdollista sijoittaa putkistoa esimerkiksi peltoon, tulee putkisto sijoittaa porakaivoon. Lämpökaivo on vaihtoehtoista huomattavasti kalliimpi, mikä vähentää investoinnin kannattavuutta ja pidentää takaisinmaksuaikaa. Yleisesti ottaen maalämpö on kallein investointikustannuksiltaan, mutta halvin käyttökustannuksiltaan. Kuten muutkin lämpöpumput, niin maalämpö käyttää toimintaansa sähköä. Öljylämmitykseen verrattuna maalämpöpumppu on kuitenkin ympäristöystävällisempi valinta.

2.3 Ilmavesilämpöpumppu

Ilma-vesilämpöpumppu on lämpöpumppuratkaisu, joka ottaa ulkoilmasta lämmitysenergiaa ja siirtää sen lämminvesivaraajaan. Ilma-vesilämpöpumpulla voidaan ajoittain vastata koko rakennuksen lämmitystehon tarpeesta, mutta se tarvitsee rinnalleen täysmitoitettun varalämmitysjärjestelmän, koska lämpöpumppu tuottaa vähiten energiaa juuri silloin, kun lämmitystehontarve on suurimmillaan. Ilma-vesilämpöpumpun antama teho -20 °C lämpötilassa on enää noin 50 % valmistajan ilmoittamasta nimellistehosta. /12./ Ilma-vesilämpöpumpulla on hyvissä olosuhteissa mahdollista päästä jopa

lämpökertoimeen COP (Coefficient Of Performance) = 3, jolloin järjestelmä tuottaa lämpöä 3 kWh sähköverkosta ottamaansa 1 kWh kohden. Mahdollisena varajärjestelmänä voivat toimia esimerkiksi pumpun omat sähkövastukset. Vanhoissa rakennuksissa ilma-vesilämpöpumppu voidaan asentaa esimerkiksi öljylämmityksen rinnalle, jolloin kyseessä on niin sanottu hybridijärjestelmä. Tällöin öljykattila on ilma-vesilämpöpumpun tukena ja vastaa lämmityksestä kovimmilla pakkasilla.

2.4 Aurinkoenergia

Aurinkoenergia perustuu auringon lämpösäteilyn hyödyntämiseen. Auringon lämpösäteily kohdistuu esimerkiksi rakennuksen katolle sijoitettuihin aurinkokeräimiin, joissa kiertävä lämmönkeruuneste tai muu vastaava sitoo lämpöä ja siirtää sen varajaan. Aurinkoenergiajärjestelmä on investointina kallis, mikä pidentää takaisinmaksuaikaa. Jotta aurinkoenergia toimisi kannattavasti, tulee järjestelmä mitoittaa niin, että suurin osa tuotetusta aurinkoenergiasta saadaan käytettyä itse /7/. Häviöiden minimoimiseksi tulee järjestelmä suunnitella siten, että keräimien ja varajaan tai muun vastaavan välinen etäisyys on mahdollisimman lyhyt. Aurinkoenergialla ei kuitenkaan voida Suomen oloissa kokonaan vastata rakennuksen lämmitysenergian tarpeesta /1, s.335/. Aurinkoenergia on kytkettävä osaksi muuta lämmitysjärjestelmää, koska auringosta saatava energia rajoittuu Suomessa keväästä syksyyn. Aurinkoenergia soveltuu hyvin lämpimän käyttöveden lämmittämiseen.

2.5 Aurinkosähkö

Aurinkosähköjärjestelmät ovat myös lisänneet suosiotaan, osaksi johtuen viime vuosina voimakkaasti laskeneista aurinkosähköjärjestelmien hinnoista. Kuten aurinkoenergiassa niin aurinkosähkössäkin järjestelmän kannattavuuteen vaikuttaa rakennuksen maantieteellinen ja kattopinta-alan sijainti sekä mahdollisten varjostusten määrä. Aurinkosähköjärjestelmässä auringon säteilyä kerätään aurinkosähkökennoilla, minkä jälkeen säteily muutetaan jännitteeksi. Aurinkosähkössä ei kohtuullisen kalliiden investointikustannusten jälkeen aiheudu juurikaan käyttökustannuksia. Lisäksi aurinkosähkökennot ovat todella pitkäikäisiä noin 30 vuotta. Aurinkosähköjärjestelmät ovatkin kannattavimmillaan kohteissa, joissa kulutetaan kesäaikana runsaasti sähköä. /7./ Tal-

visaikaan marras- tammikuussa, kun auringon säteily on vähäistä, niin aurinkosähköjärjestelmien sähköntuotto on lähes olematonta /10, s.30/. Talvisin ongelmana on myös katoille satava lumi.

3 TARKASTELTAVIEN KOHTEIDEN JA VAIHTOEHTOJEN KUVAUS

Tarkasteltavat kohteet sijaitsevat Suomenniemen keskustassa Opinraitti-nimisen kadun varrella. Koulukeskus on rakennettu Suomenniemen vanhan koulurakennuksen pihapiiriin ja sen tiloissa toimii ala-aste sekä ajoittain muuta vapaa-ajan toimintaa, kuten kansalaisopiston kursseja. Toimintakeskus Metsätähti puolestaan sijaitsee koulukeskuksen nähdessä kadun toisella puolella sadan metrin etäisyydellä. Toimintakeskuksessa on saatavilla erilaisia terveys-, kuntoutus- ja majoituspalveluita.

3.1 Suomenniemen koulukeskus

Suomenniemen koulukeskus on vuonna 1976 rakennettu koulurakennus (Kuva 1), jota on laajennettu ja muutettu vuosina 2002 ja 2013. Rakennuksen tilavuus on 4390 m³ ja sen kerrosala on 892 m². Kiinteistön lämmitysratkaisuna on tällä hetkellä öljylämmitys, josta lämpö jaetaan tiloihin vesikiertoisella patterilämmityksellä. Teräslevyisten levyradiaattoreiden mitoituslämpötilat ovat 70/40 °C. Öljykattilana on Laatukattila Oy:n vuonna 2002 valmistama 400 litran kattila, jonka lämmitysteho on 125 kW. Oilonin öljypolttimen nimellisteho on 8-30 kg/h. Kiinteistön vuosittainen öljyn kulutus on vaihdellut vuosien 2014–2015 aikana 9400 – 12000 litran välillä. Sähkönkulutus on ollut 24 – 28 MWh vuodessa.



KUVA 1. Suomenniemen koulukeskus

3.2 Toimintakeskus Metsätähti

Toimintakeskus Metsätähti (kuva 2) on vuonna 1998 rakennettu palvelukeskus. Rakennuksen tilavuus on 3910 m^3 ja sen kerrosala on 1155 m^2 . Kuten koulukeskuksessa, myös toimintakeskus Metsätähdessäkin käytetään öljyä lämmittämiseen ja lämpö jaetaan kiinteistöön vesikiertoisella patterilämmityksellä. Pattereiden mitoituslämpötilat ovat $70/40 \text{ }^\circ\text{C}$. Öljykattilan lämmitysteho on $90 - 350 \text{ kW}$. Toimintakeskuksen vuosittainen öljyn- ja sähkönkulutus on huomattavasti koulukeskusta suurempaa johtuen kiinteistön erilaisesta käyttötarkoituksesta. Vuosien 2013–2015 aikana vuosittainen öljyn kulutus on ollut $21000 - 27000$ litraa ja sähkönkulutus $137-146 \text{ MWh}$. Toimintakeskukseen on toteutettu lokakuussa 2015 ilma-vesilämpöpumppuratkaisu. Tällä pyritään pienentämään öljyn osuutta rakennuksen lämmityksessä.



KUVA 2. Toimintakeskus Metsätähti

3.3 Kiinteistöjen todelliset energiankulutukset

Koska kiinteistöjen vuosittaiset energiankulutukset eivät ole suoraan vertailukelpoisia keskenään tulee vuosikulutukset normittaa vertailupaikkakuntaan. Normeerauksen tarkoituksena on helpottaa rakennuksen energiankulutuksen seurantaa, ja sen avulla energiankulutukset vastaavat normaalia vuotta. Tällöin vuosittaiset energiankulutukset ovat keskenään vertailukelpoisia. Vertailupaikkakuntien avulla rakennuksien energiankulutuksia voidaan vertailla muilla paikkakunnilla olevien rakennusten kanssa. Suomeniemi kuuluu Mikkelin kaupunkiin, jolloin vertailupaikkakuntana on Lappeenranta /4/. Normitettu energiankulutus voidaan laskea yhtälöiden 1 ja 2 mukaisesti /6/.

$$Q_{norm} = \frac{S_{N\ vpkunta}}{S_{toteutunut\ kunta}} \times Q_{toteutunut} + Q_{lämmin\ käyttövesi} \quad (1)$$

missä

Q_{norm}	on rakennuksen normitettu lämmitysenergiankulutus, kWh/a
$Q_{toteutunut}$	on rakennuksen tilojen lämmittämiseen kuluva energia, kWh/a
$Q_{lämmin\ käyttövesi}$	on käyttöveden lämmittämisen vaatima energia, kWh/a

S_N vpkunta	on normaalivuoden lämmitystarveluku vertailupaikkakunnalla, Lappeenrannassa 4510
$S_{toteutunut}$ vpkunta	on toteutunut lämmitystarveluku vuositasolla vertailupaikkakunnalla

$$Q_{toteutunut} = Q_{kok} - Q_{lämmin\ käyttövesi} \quad (2)$$

missä

Q_{kok} on rakennuksen kokonaislämmitysenergiankulutus, kWh/a

Muutettaessa öljyn määrä kokonaislämmitysenergiaksi, käytetään muuntokertoimena 1 litra kevyttä polttoöljyä = 10,02 kWh/litra /5, s.2/. Kiinteistöjen vedenkulutustiedoissa ei ollut eriteltynä kylmää ja lämmintä vettä, vaan käytössä oli ainoastaan tieto käyttöveden kokonaiskulutuksesta. Tästä johtuen lämpimän käyttöveden osuus täytyi arvioida. Pääsääntöisesti asuinrakennuksissa lämpimän käyttöveden osuutena voidaan käyttää 40 % kokonaiskulutuksesta /11, s.25/. Koulurakennuksen kohdalla lämpimän käyttöveden osuus on kuitenkin tätä huomattavasti vähäisempää. Koska ruuan valmistuskin tapahtuu toimintakeskus Metsätähdessä, voidaan arvioida lämpimän käyttöveden olevan noin 20 % kokonaiskulutuksesta. Taulukoista 1 ja 2 voidaan havaita, että käyttöveden kokonaiskulutuksen ollessa vähäistä, sillä ei ole rakennuksen lämmitysenergian tarpeen kannalta juurikaan vaikutusta.

Toimintakeskus Metsätähden lämpimän käyttöveden kulutuksen arvioidaan olevan noin 30 % kokonaiskulutuksesta. Koska toimintakeskuksessa lämpimän käyttöveden kulutus on suurempaa, niin lämpöhäviöiden huomioimiseksi $Q_{lämmin\ käyttövesi}$ kerrotaan 1,1:llä, jolloin arvioitu lämpöhäviöiden suuruus on 10 %. Toimintakeskuksen lämmitysenergian kulutus selviää taulukosta 3. Laskennassa käytettävä käyttöveden lämmittämisen vaatima energiamäärä on 58,5 kWh/m³ /10, s.21/.

Jotta päästään todenmukaisiin tuloksiin, lasketaan vuotuisista normitetuista energiankulutuksista keskiarvo. Tämän jälkeen normitettu keskiarvo kerrotaan vielä öljykattilan hyötysuhteella. Molempien kiinteistöjen öljykattiloiden hyötysuhteiksi voidaan arvioida $\eta = 87\%$ /5, s.3/.

TAULUKKO 1. Koulukeskuksen lämmitysenergian kulutus, kun arvioitu lkv:n osuus on 20 %

Öljyn kulutus	2014	2015
l/a	12024	9471
Q _{kok} (kWh/a)	120480	94899
Käyttövesi		
m ³ /a	115	100
lkv:n osuus (m ³ /a)	23	20
Q _{lämmin käyttövesi}	1346	1170
Q _{toteutunut}	119135	93729
S _N vpkunta	4510	4510
S _{toteutunut} vpkunta	4046	3684
Q _{norm}	134143	115915
Keskiarvo (kWh/a)	125029	

Koulukeskuksen todellinen vuotuinen lämmitysenergiantarve laskettuna 87 %:n kattilavuosihiyötysuhteella on:

$$125 \text{ MWh} * 0,87 = 108,8 \text{ MWh} \approx \mathbf{110 \text{ MWh}}$$

TAULUKKO 2. Koulukeskuksen lämmitysenergiankulutus, kun arvioitu lkv:n osuus on 40 %

Öljyn kulutus	2014	2015
l/a	12024	9471
Q _{kok} (kWh/a)	120480	94899
Käyttövesi		
m ³ /a	115	100
lkv:n osuus (m ³ /a)	46	40
Q _{lämmin käyttövesi}	2691	2340
Q _{toteutunut}	117789	92559
S _N vpkunta	4510	4510
S _{toteutunut} vpkunta	4046	3684
Q _{norm}	133989	115652
Keskiarvo (kWh/a)	124821	

Koulukeskuksen todellinen vuotuinen lämmitysenergiantarve laskettuna 87 %:n kattilavuosihiyötysuhteella on:

$$124,8 \text{ MWh} * 0,87 = 108,6 \text{ MWh} \approx \mathbf{110 \text{ MWh}}$$

TAULUKKO 3. Toimintakeskuksen lämmitysenergian kulutus, kun arvioitu lkv:n osuus on 30 %

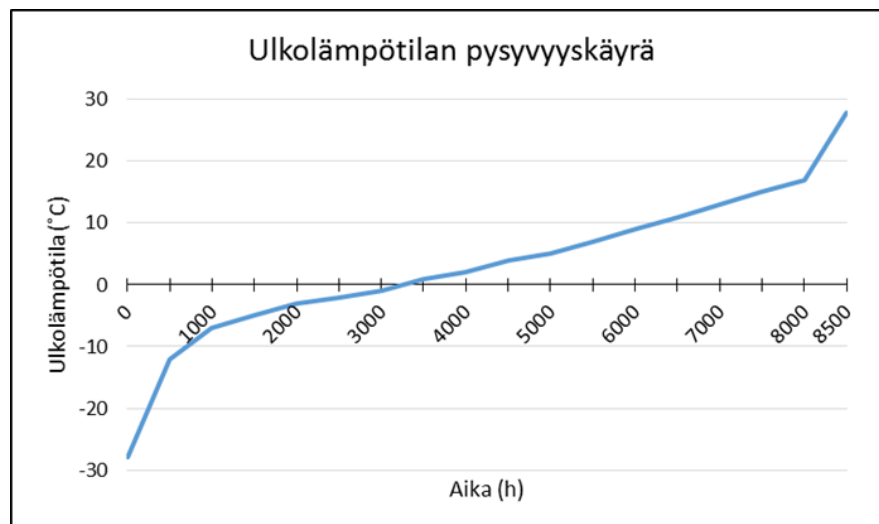
Öljyn kulutus	2014	2015
l/a	27073	21353
Q _{kok} (kWh/a)	271271	213957
Käyttövesi		
m ³ /a	1309	1143
lkv:n osuus (m ³ /a)	393	343
Q _{lämmin käyttövesi}	25270	22066
Q _{toteutunut}	246001	191891
S _N vpkunta	4510	4510
S _{toteutunut} vpkunta	4046	3684
Q _{norm}	299483	256982
Keskiarvo (kWh/a)	278233	

Toimintakeskus Metsätähden todellinen vuotuinen lämmitysenergian tarve laskettuna 87 %:n kattilavuosihiyötyosuhteella on:

$$278,2 \text{ MWh} * 0,87 = 242,1 \text{ MWh} \approx \mathbf{240 \text{ MWh}}$$

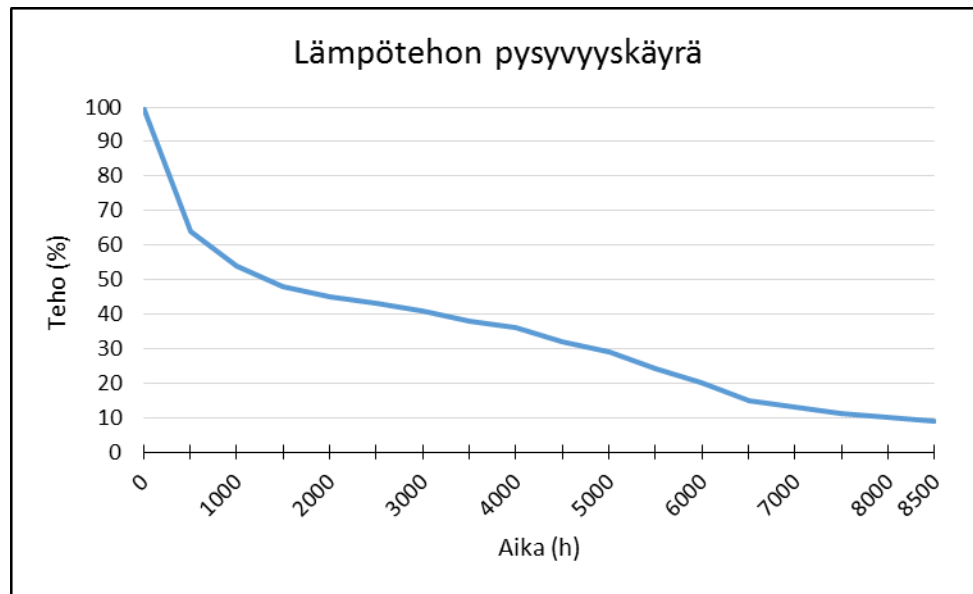
3.4 Lämpötehon pysyvyyskäyrät

Uuden lämmitysjärjestelmän mitoitus tehoa voi arvioida lämpötehon pysyvyyskäyrän avulla. Siihen vaikuttaa myös ulkolämpötilan pysyvyyskäyrä (Kaavio 1), jossa näkyy kuinka monta tuntia vuodessa ulkolämpötila on tiettyä arvoa alhaisempi. Ulkolämpötilan pysyvyyskäyrän laadintaan käytettiin Jyväskylän säätietoja, jolloin ulkolämpötilat olivat lähempänä Suomenniemen mitoittavaa ulkoilman lämpötilaa $T_{u,mit} = -29 \text{ °C} / 16$, s.84/.



KAAVIO 1. Ulkolämpötilan pysyvyyskäyrä

Lämpötehon pysyvyyskäyrällä lämmityslaitoksen teho muodostuu lämpimän käyttöveden, ilmanvaihdon ja ulkolämpötilasta riippuvasta lämmitystehosta. Käyrästä näkee, kuinka suuri huipputehontarve on lyhytaikaista ja sen vaatima energiamäärä on vähäinen vuosienergiaan verrattuna. /1, s.114./ Kaaviossa 2 on esitetty yleinen lämpötehon pysyvyyskäyrä, jonka avulla lämmitystehoa voidaan arvioida /19, s.12/.



KAAVIO 2. Lämpötehon pysyvyyskäyrä

Lämpötehon pysyvyyskäyrässä näkyvä noin 1000 tunnin huipputehontarve katetaan yleensä uuden lämmitysjärjestelmän yhteydessä jo käytössä olevalla lämmitysjärjestelmällä. Mikäli uusi pelletti- tai maalämpöjärjestelmä ei ole täystehomitoitettu, jää esimerkiksi vanha öljykattila varajärjestelmäksi, jolla lämmitetään kylmimmillä pakkasilla. Tällä tavalla saadaan optimaalinen tehonjako kahden lämmitysjärjestelmän kesken. Lämpötehon pysyvyyskäyrästä voidaan havaita, että uutta lämmitysjärjestelmää mitoittaessa riittää uuden järjestelmän mitoitus tehoksi noin 40–60 % alkuperäisestä. Tällä tehopeitolla voidaan yleisesti kattaa noin 60–80 % järjestelmän vuotuisesta lämmitysenergian tarpeesta, suotuisissa olosuhteissa enemmänkin.

3.5 Tarkasteltavat lämmitysratkaisut

Kuvassa 3 näkyy opinnäytetyössä tarkasteltavat lämmitysratkaisuvaihtoehdot. Koulukselle vaihtoehtoja öljylämmityksen tilalle ovat pellettilämmitys, maalämpö ja ilma-vesilämpöpumppu. Toimintakeskuksessa öljyn kulutusta vähennetään jo toimin-

nassa olevalla ilma-vesilämpöpumpulla, joten tarkasteltavia vaihtoehtoja ovat aurinkolämpö ja aurinkosähkö. Lisäksi tarkastellaan mahdollisia yhteisratkaisuja. Pellettilämmityksen yhteisratkaisussa molempia kiinteistöjä palvelee yksi pellettivarasto sekä pellettikattilalaitos. Pellettikattila ja -varasto sijaitsevat koulukeskuksen yhteydessä, jossa tuotetaan myös toimintakeskuksen lämmin käyttövesi. Lämmin käyttövesi kuljetetaan toimintakeskukselle maanalaista yhdysputkea pitkin. Tämä lämmitysratkaisuvaihtoehto toteutuessaan sulkee koulukeskuksen osalta maalämmön ja ilma-vesilämpöpumpun pois. Toimintakeskuksen osalta tämä vaihtoehto sulkee aurinkolämmön toteutuksen pois. Maalämmön yhteisratkaisussa molempia kiinteistöjä palvelevat yhteiset lämpökaivot. Maalämpöjärjestelmä on myös täystehomitoitettu, jolla vastataan molempien kiinteistöjen kokonaislämmitysenergiasta. Toteutuessaan maalämpö sulkee koulukeskuksen osalta pellettilämmityksen ja ilma-vesilämpöpumpun pois. Toimintakeskuksen osalta maalämpö syrjäyttää toteutuessaan aurinkolämpöhankkeen.

KOULUKESKUS	METSÄTÄHTI	YHTEISRATKAISUT
Lämmöntarve 110 MWh	Lämmöntarve 240 MWh , josta lkv:n osuus 24 MWh	Pellettilämmitys yhdysputkella, pellettikattila ja -varasto koulukeskuksen yhteydessä 134 MWh
<u>VAIHTOEHDOT</u>	<u>VAIHTOEHDOT</u>	
Pellettilämmitys Maalämpö Ilma-vesilämpöpumppu	Aurinkoenergia Aurinkosähkö	Maalämpö porakaivoilla, molemmilla kiinteistöillä omat lämpöpumpunsa yht. 350 MWh

KUVA 3. Työssä tarkasteltavat lämmitysratkaisuvaihtoehdot ja yhteenveto kiinteistöjen normitetuista energiankulutuksista

4 KIINTEISTÖKOHTAINEN TEKNINEN TOTEUTUS JA INVESTOINTIKUSTANNUKSET

Kiinteistöjen lämmitysratkaisuja vertaillaan ja tutkitaan öljynkulutuksen kautta saatujen todellisten lämmitysenergiavaatimusten perusteella. Näin voidaan hahmottaa kunkin lämmitysratkaisun vaatimat vuosittaiset polttoainekustannukset. Työssä tarvittavat uusien lämmitysjärjestelmien investointihinnat saatiin Mikkelin tilakeskuksen kautta. Vertailtavat lämmitysratkaisut on valittu yhdessä opinnäytetyön toimeksiantajan kanssa, minkä tarkoituksena on pyrkiä vertailemaan vain tilaajan haluamia vaihtoehtoja. Tämä on opinnäytetyön kannalta tärkeää, koska opinnäytetyön perusteella voidaan tehdä mahdollisia päätöksiä järjestelmien investoinneista.

4.1 Suomenniemen koulukeskus

Koulukeskuksen kattilahuone sijaitsee ensimmäisessä kerroksessa osittain maanpinnan alapuolella. Nykyinen öljykattila sijaitsee kattilahuoneen nurkassa. (Kuva 4) Kattilahuone ei ole iso, mutta sinne kyllä mahtuu uusi pellettikattila tai maalämpöpumppu. Ongelmana voi olla kattilahuoneen oviaukko, joka sijaitsee noin metrin lattiapintaa korkeammalla.



KUVA 4. Koulukeskuksen kattilahuone

4.1.1 Pellettilämmitys

Koska pellettikattila vaatii ympärilleen riittävästi tilaa tuhkaluukkujen ja nuohouksen takia, niin tulee pellettikattila sijoittaa hieman keskemmälle kattilahuonetta. Suositellavat vapaat etäisyydet ovat kattilan sivuilla 0,6 m ja edessä 1,0 m. Kattilahuoneessa tulee myös varmistaa riittävä palamisilman saanti, jotta poltin toimisi kunnolla. Riittävä tuuloilma-aukko on halkaisijaltaan vähintään 160 mm. Pellettikattilan ja polttimeen sijoittamisessa tulee myös huomioida pellettivarastosta tulevan syöttöruuvien tarvitsema tila. Tässä tapauksessa syöttöruuvi tulisi kattilahuoneeseen öljypolttimeen puoleiselta seinustalta. Pellettikattila voi myös sijaita ns. lämpökeskuksessa, joka sijaitsee ulkona. Tässä tapauksessa myös pellettivarasto sijaitsee samassa lämpökeskuksessa. Koulukeskuksessa on nykyaikaiset teräslevyradiaattorit, joten pellettilämmitykseen päädyttäessä ei

tarvitse vaihtaa pattereita. Pellettilämmityksessä veden lämpötila pysyy korkeana. Pellettilämmitykseen siirtyessä vanha öljylämmitys puretaan, koska uusi pellettilämmitys on täystehomitoitettu.

Pellettivaraston mitoitusta varten on tiedettävä pellettilämmityksen vaatima vuosittainen lämmitysenergian määrä sekä sitä kautta vuotuinen pelletin kulutus. Pellettilämmityksen vaatima vuotuinen ostettava lämmitysenergia lasketaan yhtälön 3 mukaisesti, jossa kiinteistön todellinen lämmitystehontarve kerrotaan lämpömuotokerroimella, joka ottaa lämpöhäviöt huomioon. Vuotuinen pelletin kulutus saadaan yhtälön 4 mukaisesti jakamalla järjestelmän vaatima ostoenergia määrä pellettien lämpöarvolla.

$$Q_{osto} = Q_{tod} * (1/\eta) \quad (3)$$

missä

Q_{osto}	on rakennuksen vuosittainen ostoenergian määrä, MWh/a
Q_{tod}	on rakennuksen vuotuinen todellinen lämmitystehontarve, MWh/a
$(1/\eta)$	on lämpöhäviöt huomioon ottava lämpömuotokerroin

Koulukeskuksen vuotuinen todellinen energian tarve on 108,8 MWh/a. Pellettilämmityksen lämpöhäviöt huomioon ottava lämpömuotokerroin on 1,25 /5, s.3/. Tällöin rakennuksen vuosittaiseksi ostoenergian määräksi saadaan:

$$108,8 \text{ MWh/a} * 1,25 = \mathbf{136,0 \text{ MWh/a}}$$

$$\frac{Q_{osto}}{Q_{pelletti}} = m_{pelletti, vuosi} \quad (4)$$

missä

$Q_{pelletti}$	on pelletin lämpöarvo, MWh/t
$m_{pelletti, vuosi}$	on pelletin vuotuinen kulutus, t/a

Koulukeskuksen vuotuinen ostoenergian määrä on 136,0 MWh/a. Pelletin lämpöarvona käytetään 4,7 MWh/t /5, s.2/. Näiden tietojen perusteella rakennuksen vuotuiseksi pelletin kulutukseksi saadaan: $\frac{136 \frac{MWh}{a}}{4,7 \frac{MWh}{t}} = 28,9 \frac{t}{a}$

Yksi tonni pellettejä on tilavuudeltaan noin 1,5 m³. Lisäksi varaston/siilon pohjakaltevuuden tulee toiminnan varmistamiseksi olla vähintään 45 °. /8./ (Liite 1) Pellettikattiloita valmistava Ariterm Oy:n mitoittaman pellettisiilon tilavuus 32 m³. Tällöin varaston sisältö riittää noin kuudeksi kuukaudeksi /8/. (Liite 1) Pellettivarasto voidaan sijoittaa koulukeskuksen etelänpuoleiselle seinustalle viheralueen kohdalle, jolloin se sijaitsee kattilahuonetta vastapäätä. (Kuva 5)

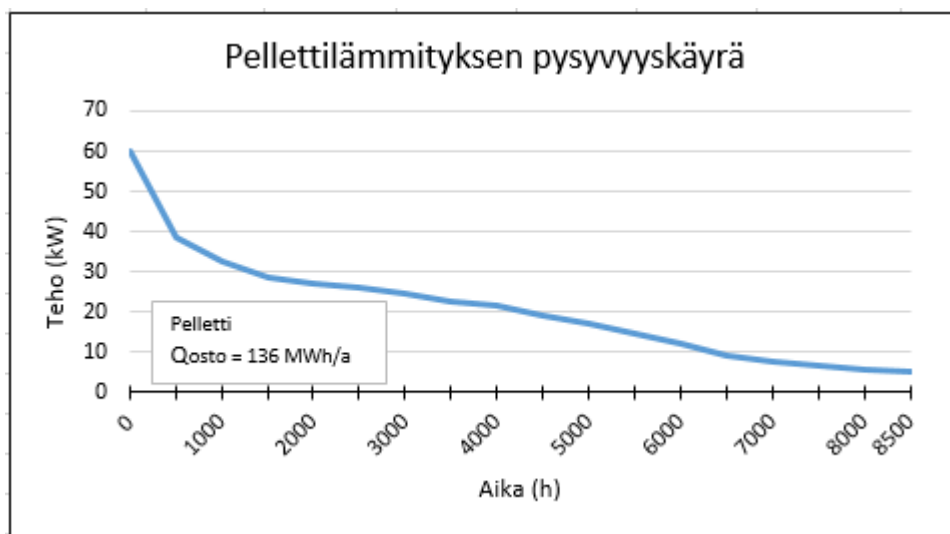


KUVA 5. Pellettivaraston/lämpökeskuksen potentiaalinen sijoituspaikka koulukeskuksen yhteydessä

Pellettilämmityksessä on aina tulipalonvaara, joten kattilahuoneen paloturvallisuuteen tulee kiinnittää huomiota. Koulukeskus on paloluokaltaan luokan P2-rakennus ja, koska kyseessä on yli 30 kW:n kattilalaitos, niin kattilahuonetta ympäröivien rakennneosien suositellaan olevan vähintään paloluokkaa EI 60. Eli rakenteiden tulee palon sattuessa kestää tiiviinä ja eristävänä 60 minuutin ajan. Lisäksi osastoivien rakenteiden on oltava palamattomia A2-s1, d0-luokan tarvikkeita. /14, s.6./ Tämä tarkoittaa tarvikkeita, joiden osallistuminen paloon on erittäin rajoitettu (A2) ja savuntuotto on erittäin vähäistä (s1) sekä tarvikkeita, joissa palavia pisaroita tai osia ei esiinny /13, s.5/. Pellettien siirtoruuvi

saa lävistää osastoivan rakenteen, mutta se ei saa heikentää oleellisesti rakennusosan osastoivuutta. Kattilahuoneen palo-oven tulee olla osastoinniltaan vähintään EI 30.

Opinnäytetyössä ei ollut mahdollista laatia oikeisiin tuntitehotietoihin perustuvaa lämpötehon pysyvyyskäyrää. Uuden pellettijärjestelmän tehon arvioinnissa on huomioitu nykyisen järjestelmän ylimitoitus. Pellettikattiloita valmistava Ariterm Oy arvioi riittäväksi koulukeskuksen pellettikattilan nimellistehoksi 60 kW. Tällä teholla pystytään tuottamaan koulukeskuksen kokonaislämmitystehontarve. (Kaavio 3) Kyseisellä pellettikattilalla voidaan kuitenkin päästä 75 kW:n huipputehoon.



KAAVIO 3. Koulukeskuksen uuden pellettikattilan täystehomitoitus 60 kW:iin

4.1.2 Maalämpö

Koska koulukeskus sijaitsee taajama-alueella ja horisontaalisen maakeruupiirin tarvitsemää tilaa ei kiinteistön lähetyviltä löydy, niin ainut potentiaalinen toteutusratkaisu on lämpökaivo. Koska kohteen lämmitysenergiantarve on myös kohtuullisen iso, lämpökaivojen lukumäärä olisi todennäköisesti kahdesta kolmeen. Lämpökaivot voivat sijaita viereisen hiekkakentän lähetyvillä, jolloin ne ovat lähellä kattilahuonetta ja ylimääräinen maanpintaa lähellä oleva siirtymä jää vähäiseksi. Taajama-alueella täytyy myös ottaa huomioon, että lämpökaivon poraus on luvan varaista toimintaa johtuen mm. pohjavesialueista. Maalämpöpumppu taas mahtuu nykyiseen kattilahuoneeseen ilman suurempaa remonttia. Maalämmön vaatima vuotuinen ostettava lämmitysenergian määrä saadaan yhtälön 3 mukaisesti kertomalla kiinteistön todellinen lämmitystehontarve lämpöhäviöt huomioon ottavalla lämpömuotokertoimella.

Koulukeskuksen vuotuinen todellinen lämmitystehontarve on 108,8 MWh/a. Maalämmön lämpömuotokerroin on 0,40 /5, s.3/. Tällöin rakennuksen vuosittaiseksi ostoenergian määräksi saadaan: $108,8 \text{ MWh/a} * 0,40 = 43,5 \text{ MWh/a}$

Kiinteistön pattereita ei tarvitse vaihtaa tässä tapauksessa, mutta järjestelmän mitoituslämpötiloja täytyy laskea. Tämä parantaa maalämmön hyötysuhdetta sekä järjestelmän toimivuutta. Jos menoveden lämpötila on liian korkea, täytyy kompressorin käydä enemmän, mikä lisää sähkön kulutusta. Koska tässä tapauksessa nykyisen lämmitysjärjestelmän mitoituslämpötilat ovat 70/40 °C, niin lämmityspattereiden tehoa täytyy tarkastella eri mitoituslämpötiloissa. Tällä tavalla selviää vanhoilla lämpötiloilla mitoitettun patterin antama teho uusilla mitoituslämpötiloilla. Pattereiden tehontarkastelu tapahtuu logaritmisella ylilämpötilalla yhtälön 5 mukaisesti /1, s.169/. Logaritminen ylilämpötila tarkoittaa lämpötilaeroa huoneilman ja lämmityspatterin välillä, eli kuinka monta astetta patterin pinta on huoneilmaa lämpimämpi.

$$\theta_{ln} = \frac{t_m - t_p}{\ln \frac{t_m - t_h}{t_p - t_h}} \quad (5)$$

missä

θ_{ln}	on logaritminen ylilämpötila, °C
t_m	on lämmitysjärjestelmän menoveden lämpötila, °C
t_p	on lämmitysjärjestelmän paluuveden lämpötila, °C
t_h	on huoneen mitoituslämpötila, °C

Nykyisellä lämmitysjärjestelmällä voidaan pitää huoneen mitoituslämpötilana $t_h = 21 \text{ °C}$. Muut lämpötilat ovat $t_m = 70 \text{ °C}$ ja $t_p = 40 \text{ °C}$. Näillä tiedoilla saadaan nykyisen lämmitysjärjestelmän logaritminen ylilämpötila:

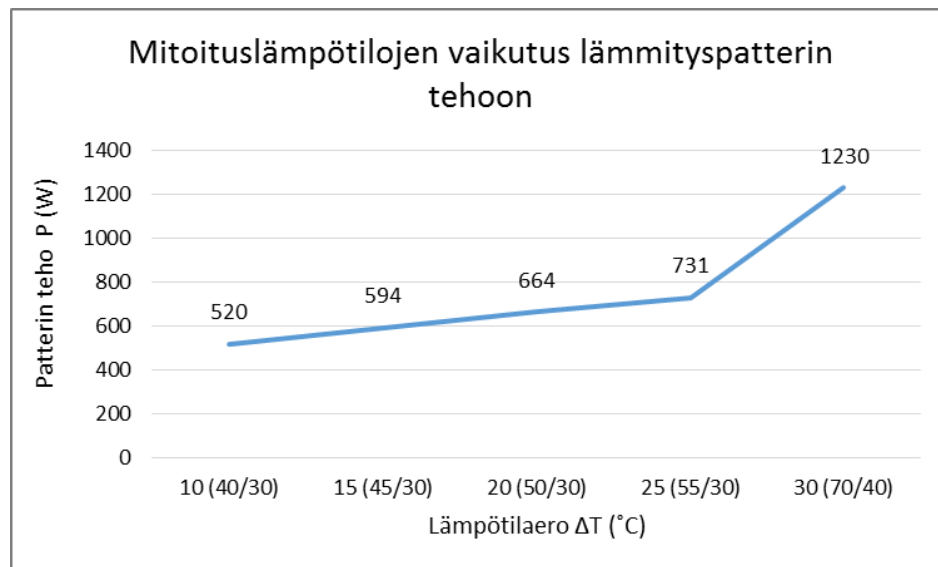
$$\theta_{ln} = \frac{70 \text{ °C} - 40 \text{ °C}}{\ln \frac{70 \text{ °C} - 21 \text{ °C}}{40 \text{ °C} - 21 \text{ °C}}} = 31,67 \text{ °C}$$

Uudet tarkasteltavat mitoituslämpötilat ovat 55/30 °C, 50/30 °C, 45/30 °C ja 40/30 °C. Lämmityspatterin oletettu teho on 1230 W. Uusia mitoituslämpötiloja vastaavat patterien tehot lasketaan yhtälön 6 mukaisesti. Mitoituslämpötilojen vaikutus patterin tehoon näkyy kaaviosta 4.

$$P_{uusi} = P_{vanha} * \left(\frac{\theta_{uusi}}{\theta_{vanha}} \right) \quad (6)$$

missä

P_{uusi}	on uusia mitoituslämpötiloja vastaava patterin teho, W
P_{vanha}	on vanhoja mitoituslämpötiloja vastaava patterin teho, W
θ_{uusi}	on uusien mitoituslämpötilojen logaritminen yllilämpötila, °C
θ_{vanha}	on vanhojen mitoituslämpötilojen logaritminen yllilämpötila, °C



KAAVIO 4. Maalämmön mitoituslämpötilojen vaikutus lämmityspatterin tehoon, kun alkuperäinen teho on 1 230 W

Maalämpöön siirryttäessä huipputehontarve tuotetaan tarvittaessa 20 kW:n sähkövastuksella. Sähkövastuksen tarkoituksena ei ole korottaa menoveden lämpötilaa, vaan se kytketään päälle ainoastaan kylmimmillä pakkasilla lämmitystehon tarpeen ollessa suurimmillaan, kun maalämpöpumpun teho ei enää riitä. Koulukeskuksen maalämpöjärjestelmän teho on 40 kW, joka on arvioitu vuosittaisen öljynkulutuksen perusteella. Tämä tehomitoitus kattaa noin 95 % koulukeskuksen vuotuisesta lämmitysenergiantarpeesta. Nykyisen öljykattilan teho (125 kW) on todettu reilusti ylimitoitetuksi, joten yhteisteholtaan 60 kW:n lämpölaitos riittää koulukeskuksen lämmittämiseen. Kaaviossa 5 näkyy maalämpöpumpun sekä sähkövastuksen ostoenergian osuudet koulukeskuksen

lämmöntuotannosta. Maalämpöpumpun hyötysuhteena on käytetty arvoa $COP = 2,5 / 5$, s.3/. Nykyinen öljykattila puretaan pois.

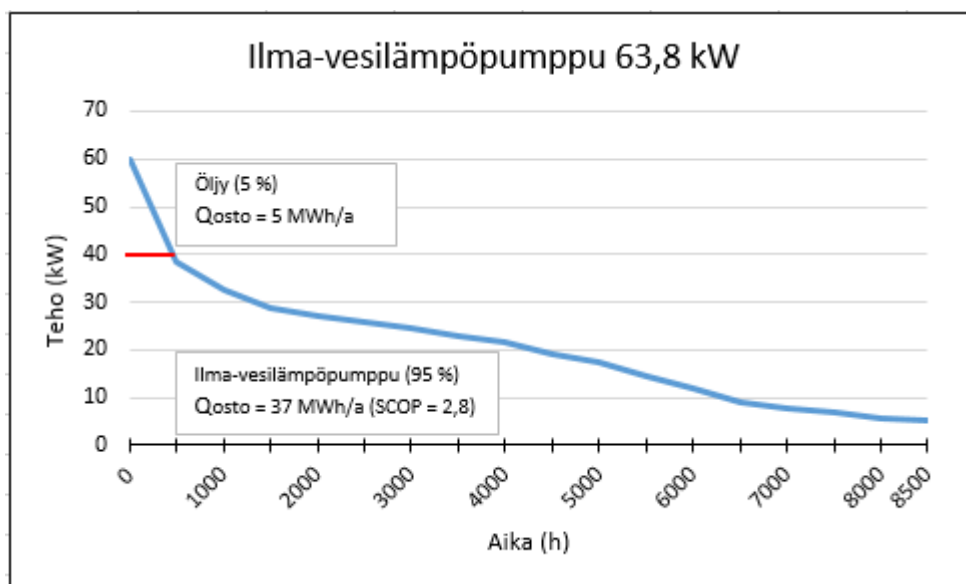


KAAVIO 5. Koulukeskuksen maalämpöjärjestelmän optimaalinen tehonjako, kun maalämpöpumpun teho on 40 kW ja sähkövastuksen teho 20 kW

4.1.3 Ilma-vesilämpöpumppu

Kuten on jo todettu, niin 60 kW:n lämmitysteho riittää koulukeskuksen lämmittämiseen. Mitsubishiin Electric CAHV-P500 ilma-vesilämpöpumpulle luvattu maksimi lämmitysteho on 63,8 kW. Tämä teho riittää kattamaan koulukeskuksen vuotuisen energiatarpeen. Ilma-vesilämpöpumpun teho ei kuitenkaan riitä kovimmilla pakkasilla, jolloin ulkolämpötilan laskiessa ilma-vesilämpöpumpulla saatava lämmitysenergian määrä sekä laitteen hyötysuhde laskevat. Näin ollen nykyinen öljykattila jää ilma-vesilämpöpumpun tueksi ja öljyllä lämmitetään kylmimpänä vuoden aikana, jolloin ilma-vesilämpöpumpun hyötysuhde on huonoimmillaan. Kaaviossa 6 näkyy oletettu öljykattilan ja ilma-vesilämpöpumpun optimaalinen tehonjako, jossa ilma-vesilämpöpumpulla tuotetaan noin 95 % vuotuisesta lämmitysenergian tarpeesta. Ilma-vesilämpöpumpun energiamäärä tarkoittaa vuotuista ostoenergian määrää, joka on saatu jakamalla koulukeskuksen normitettu energiankulutus ilma-vesilämpöpumpun vuosihyötysuhteella ($SCOP = 2,8$). Kyseinen arvo on peräisin hieman vastaavasta pumppumitoituksesta, ja se on saatu opinnäytetyön toimeksiantajan kautta. Öljylämmitystä tarvitaan vuodessa arviolta noin 500 tunnin ajan, mikä vastaa ulkoilman lämpötilaa -12°C tai kylmempää (Kaavio 1). Ilma-vesilämpöpumppu voidaan sijoittaa samalle etelän puoleiselle seinustalle,

johon on myös suunniteltu pellettivarastoa. Nykyiseen kattilahuoneeseen tarvitaan lämminvesivaraaja, johon ilma-vesilämpöpumpun tuottama lämpö voidaan varastoida.



KAAVIO 6. Koulukeskuksen ilma-vesilämpöpumppuratkaisun oletettu optimaalinen tehonjako

4.2 Toimintakeskus Metsätähti

Toimintakeskus Metsätähden kattilahuone ja lämminvesivaraaja sijaitsevat rakennuksen itäpäässä maanpinnan tasolla. Kattilahuoneen yläpuolisella vesikatolla on riittävästi tilaa sekä aurinkokeräimille että aurinkosähkökennoille. Kattilahuoneessa olevaa lämminvesivaraajaa voidaan hyödyntää aurinkoenergian yhteydessä.

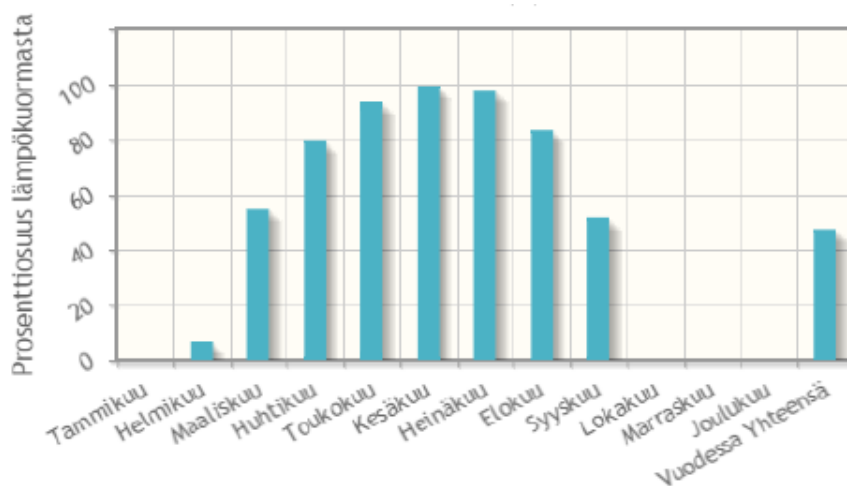
4.2.1 Aurinkoenergia

Aurinkoenergian kannalta kattilahuoneen yläpuolisen vesikaton sijainti on paras mahdollinen, koska se on suunnattu etelään, mikä antaa katolle asennetulle järjestelmälle parhaan hyödyn. Tällöin myös aurinkokeräimien ja lämminvesivaraajan välinen etäisyys jää lyhyeksi, jolloin keräimien ja varaajan väliset lämpöhäviöt vähenevät. Kattilahuoneessa oleva lämminvesivaraaja palvelee tällä hetkellä ilma-vesilämpöpumppua. Aurinkolämmöllä tuotettu energia voidaan kuitenkin ajaa samaan lämminvesivaraajaan. Aurinkolämpöjärjestelmä mitoitetaan siten, että kesä-heinäkuun aikana järjestelmä tuottaa lämpimän käyttöveden lämmittämiseen vaadittavasta energiasta 100 %. Tällä

minimoidaan ylimääräisen käyttämättä jäävän lämmön tuotanto, jolloin myös järjestelmästä tulee kannattavampi. Järjestelmän mitoitus on tehty Solar Arenan mitoitusohjelmalla, jolla voidaan suoraan valita käyttöveden lämmitysjärjestelmä /17/. Koska kiinteistön vuosittainen lämpimän käyttöveden kulutus on noin 370 m^3 , laskurissa on muutettu henkilöiden lukumäärä kymmeneen, jolloin lämpimän käyttöveden kulutus vastaa oikeaa tilannetta. (Liite 2) Mitoituksen lähtötietoja ovat:

- Kattopinnan kallistuskulmaa 35°
- Keräimet on suunnattu etelään
- Varjostuskerroin 0 %
- Keräimen optinen hyötysuhde 80 %

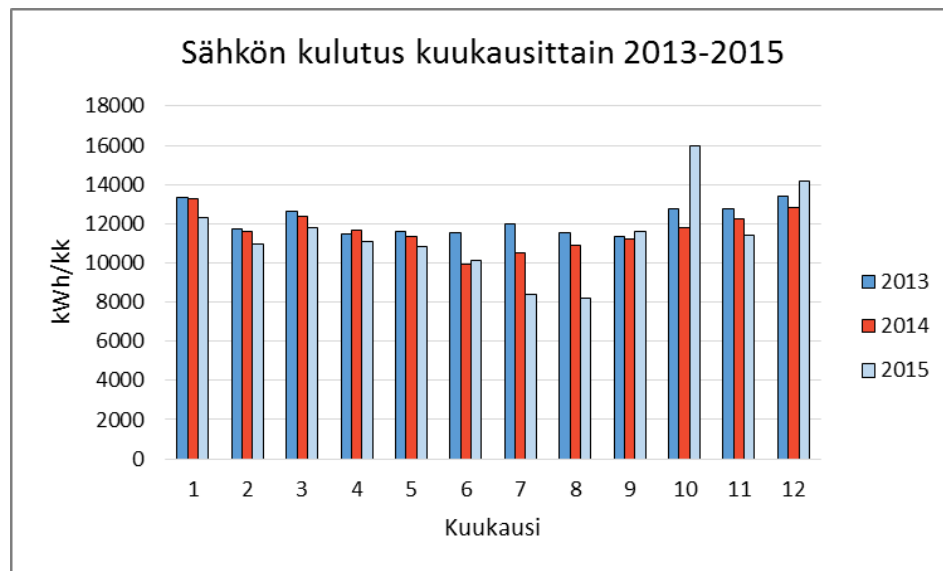
Mitoituksessa käytettävän aurinkokeräimen pinta-ala on $2,02 \text{ m}^2$. Näitä keräimiä tarvitaan kahdeksan kappaletta, jotta järjestelmä tuottaa kesäkuukausina riittävästi lämmitysenergiaa. Eli riittävä aurinkolämpöjärjestelmän koko toimintakeskukseen on 16 m^2 . Toimintakeskuksen arvioitu vuosittainen lämpimän käyttöveden lämmittämiseen kulunut energia $Q_{\text{lämmin käyttövesi}} = 23668 \text{ kWh/a}$. Kaaviosta 7 nähdään, että tällä keräinneliömäärällä tuotetaan 47,5 % lämpimän käyttöveden vuosittaisesta lämmitysenergiasta /17/. Tämä vastaa $11\,242 \text{ kWh}$ vuodessa.



KAAVIO 7. Toimintakeskus Metsätähden 16 m^2 :n aurinkolämpöjärjestelmän lämmöntuotto

4.2.2 Aurinkosähkö

Aurinkosähköjärjestelmässä käytettävät aurinkosähkökennot asennetaan samalle kattoalueelle kuin aurinkokeräimetkin. Tällöin myös aurinkosähköjärjestelmä toimii parhaiten, koska kyseinen kattoala on suunnattu etelään ilman varjostuksia. Toimintakeskus Metsätähdessä sähkönkulutus on suurta läpi vuoden (Kaavio 8), joten aurinkosähköjärjestelmällä voidaan pienentää huomattavasti vuotuista ostoenergian kulutusta. Eri-tyisesti kesäkuukausina aurinkosähköjärjestelmä toimii tehokkaasti. Aurinkosähköjärjestelmän mitoituksessa on tärkeää, että järjestelmä on oikean kokoinen ja suurin osa tuotetusta sähköstä saadaan käytettyä itse.



KAAVIO 8. Toimintakeskus Metsätähdessä kuukausittainen sähkönkulutus

Toimintakeskuksen mahdollinen aurinkosähköjärjestelmä sijaitsee aivan rakennuksen välittömässä läheisyydessä. Tällöin aurinkosähköjärjestelmän sähköntuotto voidaan laskea Suomen rakentamismääräyskokoelman ohjeiden ja yhtälöiden 7-10 mukaisesti. /11, s. 66–68./ Laskuissa käsitellään järjestelmän koko vuoden sähköntuottoa.

$$W_{pv} = \frac{G_{aur} * P_{maks} * F_{käyttö}}{I_{ref}} \quad (7)$$

missä

W_{pv}

on aurinkosähkökennojen tuottama sähköenergia vuodessa,
kWh/a

G_{aur}	on kennostoon kohdistuva auringon säteilyn energia vuoden aikana, kWh/m ²
P_{maks}	on aurinkosähkökennojen tuottama suurin sähköteho, (kun $I_{ref} = 1 \text{ kW/m}^2$ ja referenssilämpötila 25 °C), kW
$F_{käyttö}$	on käyttötilanteen toimivuuskerroin
I_{ref}	on referenssisäteilytilanne, 1 kW/m ²

$$G_{aur} = G_{aur,hor} * F_{asento} \quad (8)$$

missä

$G_{aur,hor}$	vaakatasolle osuvan auringon säteilyn kokonaisenergian määrä vuodessa, kWh/m ²
---------------	---

$$F_{asento} = F_1 * F_2 \quad (9)$$

missä

F_{asento}	aurinkosähkökennon ilmansuunnan ja kallistuskulman mukainen korjauskerroin
F_1	on ilmansuunnan mukainen kerroin
F_2	on kallistuksen mukainen kerroin

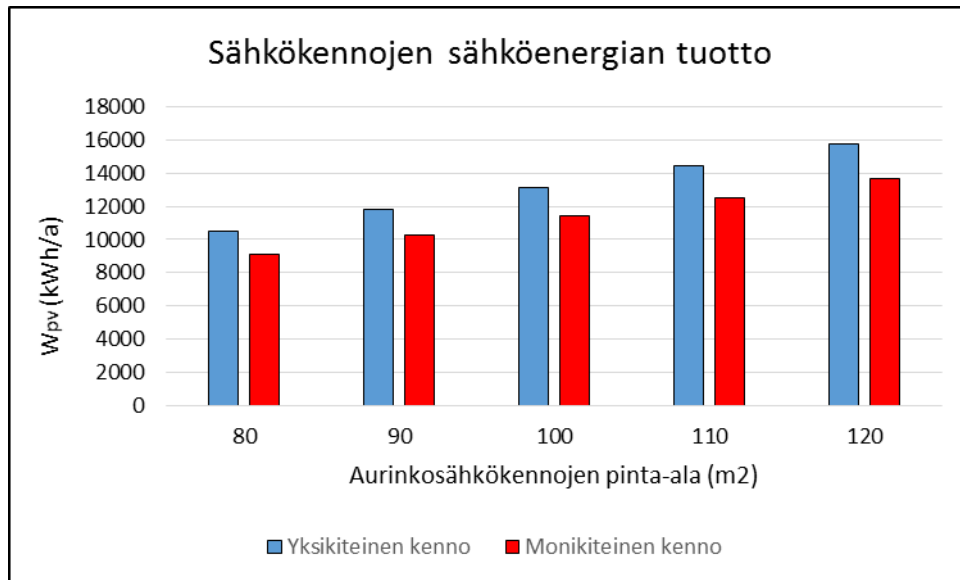
Koska Suomenniemi sijaitsee säävyöhykkeellä II, niin voidaan käyttää $G_{aur,hor} = 975 \text{ kWh/m}^2$. Katon ollessa suunnattuna etelään voidaan käyttää $F_1 = 1,0$. Katon kallistuskulman ollessa 30°-70°, käytetään myös arvoa $F_2 = 1,2$.

$$P_{maks} = K_{maks} * A_{kenno} \quad (10)$$

missä

K_{maks}	on aurinkosähkökennon tyypistä riippuva huipputehokerroin, kW/m ²
A_{kenno}	on aurinkosähkökennon pinta-ala ilman kehystä, m ²

Laskennassa käytetään yksi- ja monikiteisiä piipohjaisia aurinkosähkökennoja, jolloin $K_{\text{maks,yksikiteinen}} = 0,15 \text{ kW/m}^2$ ja $K_{\text{maks,monikiteinen}} = 0,13 \text{ kW/m}^2$. Pinta-ala on muuttuja, jonka avulla nähdään eri sähkökennomäärien sähköntuotto. Koska moduulit sijaitsevat kattopinnalla, niin ne ovat hieman tuulettuvia, joten voidaan käyttää arvoa $F_{\text{käyttö}} = 0,75$. Kaaviossa 9 näkyy yksi- ja monikiteisten aurinkosähkökennojen sähköntuotto vuositasolla.



KAAVIO 9. Sähkökennojen sähköntuotto pinta-alasta ja kennotyypistä riippuen

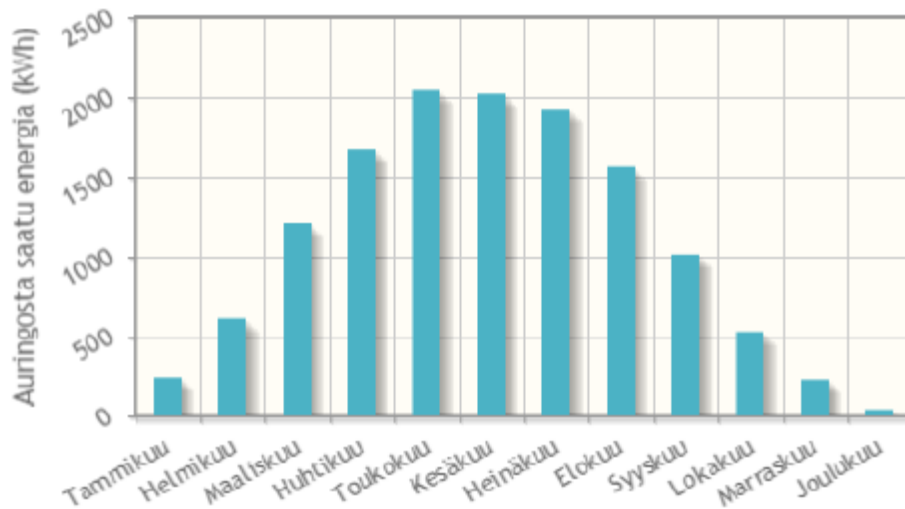
Kaaviosta 9 nähdään, että sähkökennojen sähkön tuotto kasvaa noin 1300 kWh/a kasvavaa kymmentä keräinneliötä kohden. Laskuissa käytetään yksikiteisiä sähkökennoja, joiden huipputehokerroin on $0,15 \text{ kW/m}^2$. Järjestelmän oletettu koko on 100 m^2 , jolloin aurinkosähköjärjestelmän kokonaisteho on:

$$\varnothing = 0,15 \text{ kW/m}^2 * 100 \text{ m}^2 = \mathbf{15 \text{ kW}}.$$

Tätä tehoa vastaava vuosittainen sähköntuotto on yhtälöjen 7-10 mukaisesti:

$$W_{pv} = \frac{975 \text{ kWh/m}^2 * 1,0 * 1,2 * 0,15 \text{ kW/m}^2 * 100 \text{ m}^2 * 0,75}{1 \text{ kW/m}^2} = \mathbf{13 \text{ 163 kWh/a}}$$

Jotta nähdään miten vuotuinen sähkön tuotto jakautuu kuukausittain, on mitoitus tehty myös Solar Arenan laskurilla /18/. Laskurissa keräimien määrää on muutettu siten, että niiden vuodessa tuottaman sähkön määrä vastaa edellä laskettua. (Kaavio 10). Tuotetut energiamäärät näkyvät tarkemmin Liitteessä 3.



KAAVIO 10. Toimintakeskus Metsätähden aurinkosähköjärjestelmän kuukausittainen sähkön tuotto

4.3 Yhteisratkaisut

Molempia kiinteistöjä palvelevassa pellettilämmitysratkaisussa tarkoituksena on, että koulukeskuksen kattilahuoneessa sijaitsevalla pellettikattilalla tuotetaan koulukeskuksen kokonaislämmitysenergian tarve sekä toimintakeskuksen lämmin käyttövesi. Toimintakeskuksessa ilma-vesilämpöpumppu vastaa rakennuksen lämmittämisestä. Lämmin käyttövesi kuljetetaan toimintakeskukselle noin 200 metriä pitkää maanalaista yhdysputkea pitkin, jolloin toimintakeskus Metsätähden tarviin myös lämminvesivaraaja. Tässä tapauksessa molempien kiinteistöjen nykyiset öljykattilat poistetaan. Koulukeskuksen yhteydessä on molempia kiinteistöjä palveleva 32 m³:n pellettisiilo. Pellettisiilon tilavuus on pellettikattiloita valmistavan Ariterm Oy:n mitoittama.

Toimintakeskuksen vuotuinen lämpimän käyttöveden lämmittämiseen tarvittava bruttoenergiämäärä öljylämmityksellä on $Q_{\text{lämmin käyttövesi}} = 24 \text{ MWh/a}$. Jotta kyseinen arvo saadaan vastaamaan pellettilämmitystä, täytyy luku ensin kertoa öljykattilan hyötysuhteella, minkä jälkeen se jaetaan pellettilämmityksen hyötysuhteella, jolloin arvoksi $Q_{\text{lämmin käyttövesi}}$ saadaan:

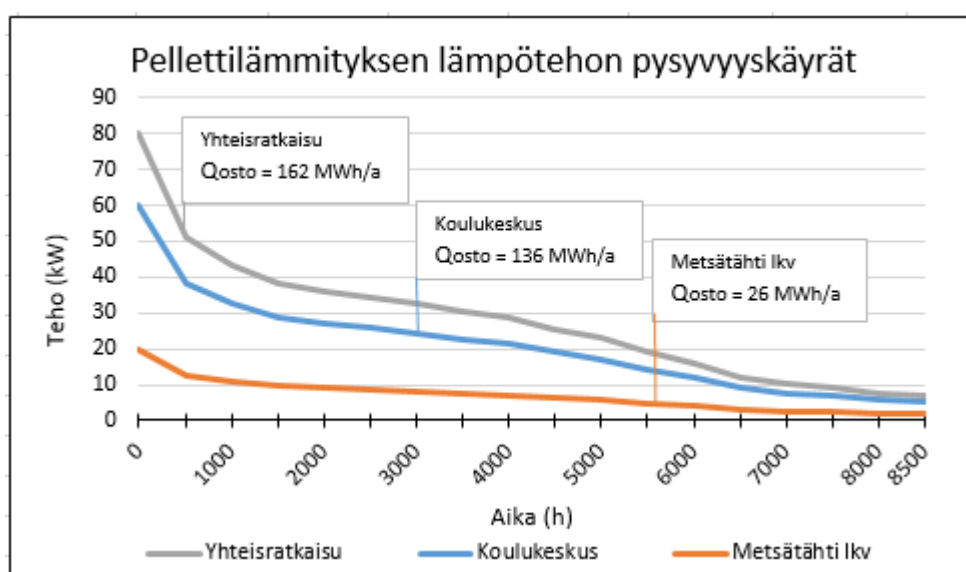
$$\frac{24 \text{ MWh/a} \cdot 0,87}{0,80} = 26,1 \text{ MWh/a}$$

Vuotuinen pelletin kulutus lasetaan yhtälön 4 mukaisesti. Näin pelletin kulutukseksi toimintakeskuksen osalta saadaan:

$$\frac{26,1 \text{ MWh/a}}{4,7 \text{ MWh/t}} = 5,6 \text{ t/a}$$

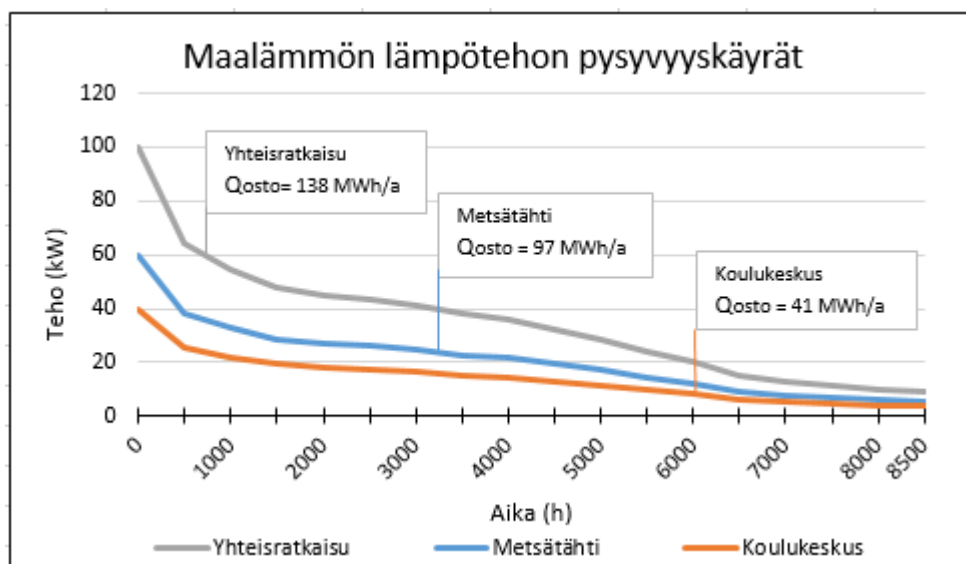
$$\text{letin kokonaiskulutus vuodessa on: } 28,9 \text{ t/a} + 5,6 \text{ t/a} = 34,5 \text{ t/a}$$

Yhteisratkaisua on helppo tarkastella myös lämpötehon ominaiskäyrän avulla. Tässäkään tapauksessa ei ollut mahdollista laatia oikeisiin tuntitehotietoihin perustuvia lämpötehon ominaiskäyriä, joten kaavion 11 käyrät ovat suuntaa-antavia. Kaavion 11 lämpötehon ominaiskäyrät on laadittu kaavion 2, Lämpötehon ominaiskäyrä mukaisiksi. Kaaviossa 11 näkyy yhteispellettiratkaisun ostoenergian määrät. Yhteisratkaisun nimellisteho 80 kW on saatu pellettikattiloita valmistavalta Ariterm Oy:ltä. Kyseisellä pellettikattilalla on kuitenkin mahdollista tuottaa jopa 100 kW:n huipputeho. Koulukeskukseen pellettikattilan nimellistehon on 60 kW. Metsätähden lämpimän käyttöveden ominaiskäyrä on näiden kahden käyrän erotus, jolloin kaaviosta 11 nähdään, että toimintakeskus Metsätähden lämpimän käyttöveden vaatima tehontarve on 20 kW.



KAAVIO 11. Koulukeskuksen, toimintakeskus Metsätähden lkv:n sekä yhteisratkaisun oletetut lämpötehon pysyvyyskäyrät

Tarkasteltavana on myös molempia kiinteistöjä palveleva maalämpöratkaisu. Järjestelmä toteutetaan lämpökaivoilla, jotka palvelevat myös molempia kiinteistöjä. Toiselle kiinteistölle lämmönkeruuputkistolla tulee vain pidempi horisontaalinen siirtymä. Molemmilla kiinteistöillä on kuitenkin oltava omat maalämpöpumppunsa sekä varaajansa. Vaihtoehtona on myös se, että lämminvesi jaetaan yhdeltä pumpulta hyvin eristetyssä putkessa toiseen kiinteistöön, mutta tässä tapauksessa lämpöhäviöt kasvavat suuriksi, mikä tekee toteuttamisesta haasteellista. Yhteismaalämpöjärjestelmän arvioitu mitoitusteho on 100 kW (Kaavio 12). Koulukeskuksen osuus on 40 kW ja toimintakeskuksen 60 kW. Myös toimintakeskuksessa varajärjestelmänä on 20 kW:n sähkövastus. Kaaviossa 12 näkyy järjestelmän ostoenergian määrät.



KAAVIO 12. Maalämpöjärjestelmän oletetut lämpötehon pysyvyyskäyrät koulukeskuksen, toimintakeskus Metsätähden ja yhteisratkaisun osalta

4.4 Investointikustannukset

Investointikustannuksia laskettaessa täytyy huomioida myös investointituet. Investointituet myönnetään kokonaisinvestoinneista, joten ne vaikuttavat olennaisesti järjestelmien takaisinmaksuaikoihin. Työ- ja elinkeinoministeriö myöntää energiatukia investointihankkeisiin, jotka edistävät /15/:

1. uusiutuvan energian tuotantoa tai käyttöä
2. energiansäästöä tai energiantuotannon tai käytön tehostamista
3. vähentämään energian tuotannon tai käytön ympäristöhaittoja.

Energiatukien myöntämisen tarkoituksena on vaikuttaa investoinnin käynnistymiseen parantamalla sen taloudellista kannattavuutta ja pienentämällä uuden teknologian käyttöönottoon liittyviä taloudellisia riskejä. Työ- ja elinkeinoministeriön tukemia uusiutuvan energian käyttöön liittyviä investointeja ovat mm. erilaiset pienet lämpökeskukset. Tällaisille lämpökeskuksille työ- ja elinkeinoministeriö on linjannut vuodelle 2016 seuraavanlaisia tukiprosentteja /15/:

- Pellettilämmitys, maalämpö sekä ilma-vesilämpöpumppu 15 %
- Aurinkolämpö 20 %
- Aurinkosähkö 25 %

Seuraavassa on esitetty yhteenveto investointikustannuksista. Hinnat ovat kokonaisbudjettihintoja, jotka sisältävät kaiken. Hinnat perustuvat laitevalmistajan tietoihin sekä kokemusperäiseen tietämykseen. Budjettihintojen luotettavana tarkkuutena voidaan pitää $\pm 15\text{--}20\%$ kokonaisbudjetista.

Pellettilämmitys

Koulukeskuksen pellettilämmitysjärjestelmän nimellisteho on 60 kW. Budjetoidut investointikustannukset ovat 49 550 €. Summa sisältää suunnittelukulut, 5 000 €. Pellettilämmitykseen vaihdettaessa investointituen osuus on 15 %, jolloin investointikustannuksiksi jää: $49\,550\text{ €} \cdot 0,85 = \mathbf{42\,100\text{ €}}$, alv 0 %.

Maalämpö

Koulukeskuksen maalämpöjärjestelmän teho on 40 kW, jonka lisänä on 20 kW sähkövastus. Budjetoidut investointikustannukset ovat 65 000 €. Pellettilämmitykseen vaihdettaessa investointituen osuus on 15 %, jolloin investointikustannuksiksi jää: $65\,000\text{ €} \cdot 0,85 = \mathbf{55\,250\text{ €}}$, alv 0 %.

Ilmavesilämpöpumppu

Koulukeskuksen ilma-vesilämpöpumpuksi valitaan Mitsubishin CAHV P500 HPB, jonka maksimi tehoksi on luvattu 63,8 kW. Budjetoidut investointikustannukset ovat 35 000 €. Ilma-vesilämpöpumppuhankkeeseen vaihdettaessa investointituen osuus on 15 %, jolloin investointikustannuksiksi jää: $35\,000\text{ €} \cdot 0,85 = \mathbf{29\,750\text{ €}}$, alv 0 %.

Aurinkolämpö

Aurinkolämpöjärjestelmälle investointikustannuksiksi lasketaan 750 €/m^2 . Kyseinen hinta sisältää kaiken, eli järjestelmän kokonaiskustannukset saadaan keräinneliöiden kautta. Aurinkolämpöjärjestelmän koko on 16 m^2 , joten investoinnin kokonaiskustannukset ovat: $16\text{ m}^2 \cdot 750\text{ €/m}^2 = 12\,000\text{ €}$. Siirryttäessä aurinkolämpöön investointituen suuruus on 20 %, jolloin investointikustannuksiksi jää:

$12\,000\text{ €} \cdot 0,80 = \mathbf{9\,600\text{ €}}$, alv 0 %.

Aurinkosähkö

Aurinkosähkön osalta investointikustannuksia arvioidaan aurinkosähkökennojen tuottaman vuosittaisen sähköenergian W_{pv} (kWh/a) avulla. Investointikustannuksia lasket-

taessa käytetään arvoa 1,4 €/W_p. Kyseinen hinta on myös kokonaishinta. Aurinkosähköjärjestelmän koko on 100 m² ja sen tuottama vuotuinen sähköenergianmäärä on 13 163 kWh, joten investoinnin kokonaiskustannukset ovat:

$13\,163\text{ kWh} * 1,4\text{ €/kWh} = 18\,428\text{ €}$. Aurinkosähköön siirryttäessä investointituen suuruus on 25 %, jolloin investointikustannuksiksi jää: $18\,428\text{ €} * 0,75 = 13\,821\text{ €}$, alv 0 %.

Yhteinen pellettijärjestelmä

Molempia kiinteistöjä palvelevan pellettilämmitysjärjestelmän nimellisteho on 80 kW. Järjestelmän budjetoidut investointikustannukset ovat 67 250 €. Hinta sisältää yhdysputken sekä lämminvesivaraajan osuuden noin 14 000 €. Lisäksi laitevalmistajan hintaan on lisätty suunnittelukulut, noin 5 000 €. Pellettilämmityksen investointituki on 15 %, jolloin investointikustannuksiksi jää:

$67\,250\text{ €} * 0,85 = 57\,200\text{ €}$, alv 0 %

Yhteinen maalämpöjärjestelmä

Kiinteistöjen yhteisen lämpökaivoilla varustetun maalämpöjärjestelmän mitoitus-teho on 100 kW. Järjestelmän budjetoidut investointikustannukset ovat 159 500 €. Maalämpöjärjestelmän investointituki on 15 %, jolloin investointikustannuksiksi jää:

$159\,500\text{ €} * 0,85 = 135\,575\text{ €}$, alv 0 %

5 KANNATTAVUUSTARKASTELU

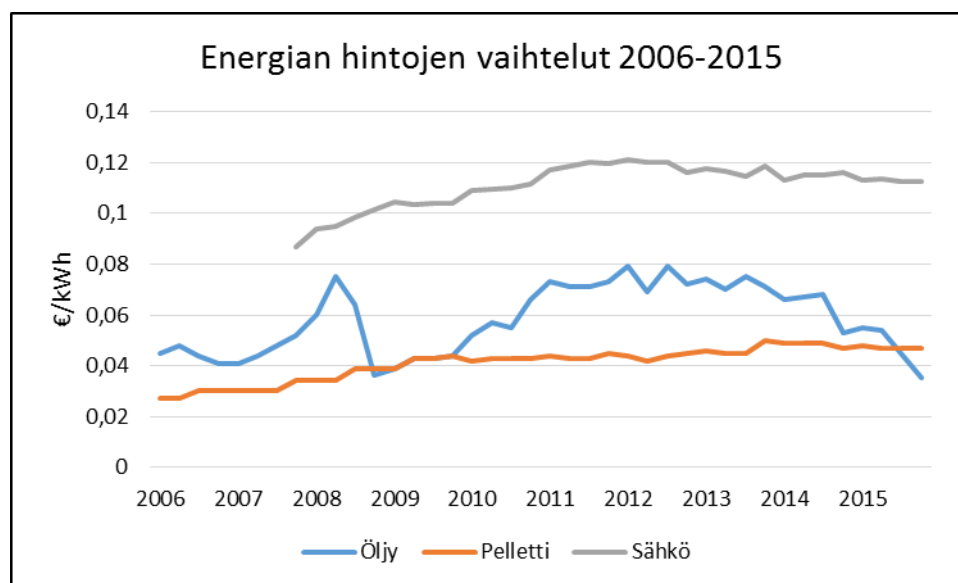
Eri lämmitysjärjestelmiä vertaillen on tärkeää, että investointi on kannattava. Eri toimijoilla saattaa olla eri kriteerejä, joiden perusteella kannattavuuksia arvioidaan. Yleisin tapa tarkastella investointien kannattavuuksia on takaisinmaksuaika. Eli mitä lyhyempi on investoinnin takaisinmaksuaika, niin sitä kannattavampi investointi on. Ensimmäinen kriteeri on, että takaisinmaksuaika on lyhyempi kuin järjestelmän tekninen käyttöikä, jolloin investointi on ylipäättään kannattava. Kannattavuuksia voidaan arvioida myös nykyarvomenetelmällä, jossa lasketaan vuosittaisten tuottojen ja kustannusten nykyarvo. Nykyarvomenetelmällä voidaan huomioida rahan arvon muutokset. /20./ Tässä työssä investointien kannattavuuksia arvioidaan takaisinmaksuaikojen avulla, joissa ei ole huomioitu korkoja.

5.1 Vuotuiset nettosäästöt

Investointien vuotuisia nettosäästöjä tarkastellessa käytetyt energian hinnat ovat: kevyt polttoöljy 0,80 €/l = (0,08 €/kWh), pelletti 220,3 €/t = (0,05 €/kWh) ja sähkö 0,11 €/kWh. Kevyen polttoöljyn hinta perustuu pidempiaikaiseen keskimääräiseen hintaan, koska kevyen polttoöljyn hinta on tällä hetkellä historiallisen alhaalla, joten vuoden 2015 keskiarvon käyttäminen väärentää tuloksia. Pelletin hintana käytetään tilastokeskuksen ilmoittamaa joulukuun 2015 hintaa /9/. Sähkön hinta on keskimääräinen Etelä-Savon alueen sähkön hinta. Kyseiset hinnat ovat arvonlisäverottomia. Öljyn ja sähkön hinnat sisältävät tarvittavat energiaverot ja sähkön siirtohinnat.

Kaaviossa 13 näkyy kevyen polttoöljyn, pelletin sekä sähkön hintavaihtelut vuosien 2005–2015 aikana. Öljyn hintatiedot perustuvat öljy ja bio-polttoainealan hintatilastoihin /21/. Pelletin hintatiedot vuosilta 2011–2015 perustuvat tilastokeskuksen hintatilastoihin /9/. Vuosien 2006–2010 pelletin hintatiedot on arvioitu silmämääräisesti Pellettienergian kaaviosta, Energian hintakehitys 2002–2015 pienkiinteistöissä /22/. Sähkön hinnat vuosilta 2007–2015 perustuvat Energiaviraston sähkön hintatilastoihin.

Sähkön hinnat Itä-Suomen osalta on haettu tilastoista pientalon kulutuksen mukaisesti. /23./



KAAVIO 13. Kevyen polttoöljyn, pelletin ja sähkön hintakehitys vuosina 2006–2015, alv 0 %

Taulukossa 4 esitetään koulukeskuksen eri lämmitysjärjestelmien vuotuiset nettosäästöt. Taulukoissa olevat ostettavat energiamäärät Q_{osto} saadaan jakamalla ensin kiinteistön todellinen lämmitysenergiankulutus Q_{tod} hyötysuhteella (η), minkä jälkeen öljyn ja pelletin energiamäärät jaetaan niiden lämpöarvoilla /5, s. 2-3/. Ilma-vesilämpöpumppu on mitoitettu 60 kW:iin. Koska ilma-vesilämpöpumpun teho ei riitä kylmimmillä keleillä, niin nykyisellä öljykattilalla vastataan arviolta 5 %:sta, joka ajoittuu talven kylmimpiin pakkasiin. Tällöin ilma-vesilämpöpumppu ja öljylämmitys muodostavat hybridiratkaisun, jossa öljykattila toimii varajärjestelmänä. Laskuissa käytetty lämmityskauden lämpökerroin SCOP (Seasonal Coefficient Of Performance) tarkoittaa lämmitysjärjestelmän vuosihyötysuhdetta. Arvo $SCOP = 2,8$ on saatu ilma-vesilämpöpumpumitoituksesta, joka on tehty hieman vastaavaan kohteeseen. Samaa arvoa käytetään laskettaessa nettosäästöjä.

TAULUKKO 4. Koulukeskuksen lämmitysjärjestelmien vuotuiset nettosäästöt, alv 0 %

Lämmitysmuoto	Öljy	Pelletti	Maalämpö	Ilma-vesilämpöpumppu
Q_{tod}	108 800 kWh/a			
Hyötysuhde (η)	87 %	80 %	250 %	$SCOP = 2,8$ öljy = 87 %
Q_{osto}	125 000 kWh/a 12 500 l/a	136 000 kWh/a 28,9 t/a	Maalämpö 95 % = 41 344 kWh/a Sähkövastus 5 % = 5 440 kWh/a	Sähkö 95 % = 36 914 kWh/a Öljy 5 % = 5 440 kWh kWh/a = 543 l/a
Energia-kustannukset	10 000 €	6 400 €	5 146 €	Sähkö = 4 061 € Öljy = 434 €
Säästö öljyyn verrattuna ~	-	3 600 €	4 900 €	5 500 €

Toimintakeskuksen lämpimän käyttöveden lämmittämiseen tarkoitetun pellettilämmityksen sekä maalämmön vuotuiset säästöt näkyvät taulukossa 5. Pelletin osuus on saatu kertomalla $Q_{\text{lämmin käyttövesi}} = 24$ MWh öljyn hyötysuhteella 0,87, minkä jälkeen se on jaettu pelletin hyötysuhteella 0,80. Öljyn osuus saadaan vähentämällä öljylämmityksen arvosta $Q_{\text{osto}} = 278200$ kWh/a käyttöveden osuus $Q_{\text{lämmin käyttövesi}} = 24$ MWh/a öljylämmityksestä. Taulukossa 6 näkyy aurinkoenergian vuotuiset nettosäästöt verrattuna käyttöveden lämmittämiseen joko öljyllä tai ilma-vesilämpöpumpulla. Toimintakeskuksen aurinkolämpöjärjestelmällä tuotetaan 47,5 % lämpimästä käyttövedestä. Keskimääräisen käyttöveden lämmittämiseen käytettävän energiamäärän ollessa 23 668 kWh/a, vastaa aurinkolämpöjärjestelmän osuus 11 242 kWh/a:ssa.

TAULUKKO 5. Toimintakeskuksen pellettilämmityksen (lkv) ja maalämmön vuotuiset nettosäästöt, alv 0 %

Lämmitysmuoto	Öljy	Pelletti (lkv) sekä öljy	Maalämpö
Q _{tod}	242 100 kWh/a		
Hyötysuhde (η)	87 %	Pelletti = 80% Öljy = 87 %	250 %
Q _{osto}	278 200 kWh/a 27 800 l/a	Pelletti = 26 100 kWh/a (lkv) = 5,6 t/a Öljy = 254 565 kWh/a = 25 400 l/a	Maalämpö 95 % = 91 998 kWh/a Sähkövastus 5 % = 12 105 kWh/a
Energia-kustannukset	22 240 €	Pelletti = 1 234 € Öljy = 20 320 €	11 451 €
Säästö öljyyn verrattuna ~	-	700 €	10 800 €

TAULUKKO 6. Toimintakeskuksen aurinkolämpöjärjestelmän vuotuiset nettosäästöt verrattuna öljylämmitykseen ja ilma-vesilämpöpumppuun, alv 0 %

Lämmitysmuoto	Öljy	Ilma-vesilämpöpumppu (SCOP = 2,8)
Aurinkolämmön osuus Φ _{lkv} :sta	11 242 kWh/a	
Aurinkolämmön säästöt verrattuna muihin ratkaisuihin	900 €	400 €

Toimintakeskuksen aurinkosähköjärjestelmän vuotuiset nettosäästöt voidaan laskea suoraan järjestelmän tuottamasta sähköenergiasta. Sähkön tuoton ollessa 13 163 kWh vuotuisiksi nettosäästöiksi saadaan: $13\,163 \frac{kWh}{a} * 0,11 \frac{€}{kWh} \approx 1\,450 €$

Yhteisratkaisuiden vuotuiset nettosäästöt voidaan laskea taulukoiden 4 ja 5 arvoista. Koulukeskuksen lämmityksestä ja toimintakeskus Metsätähden lämpimän käyttöveden lämmityksestä vastaavan pellettilämmityksen vuotuiset nettosäästöt ovat:

3 600 € + 700 € = **4 300 €**. Molempien kiinteistöjen lämmityksestä vastaavan maalämpöjärjestelmän vuotuiset nettosäästöt ovat: 4 900 € + 10 800 € = **15 700 €**.

5.1.1 CO₂-päästöt

Koska opinnäytetyössä haetaan uusiutuvaa energiaa hyödyntäviä lämmitysratkaisuja, niin oleellista on myös tietää kunkin lämmitysratkaisun vuosittaiset hiilidioksidipäästöt öljylämmitykseen verrattuna. Öljylämmityksen, maalämmön sekä ilma-vesilämpöpum-

puun vuotuiset CO₂-päästöt saadaan kertomalla ostoenergian määrä energiamuodon ominaispäästökertoimella yhtälön 11 mukaisesti /5, s.4/. Pellettilämmityksestä ei CO₂-päästöjä synny, koska palaessaan pelletit vapauttavat ilmakehään saman määrän hiilidioksidia kuin ne puina kasvaessaan ovat sitoneet. Yhtälön 12 mukaisesti lasketut CO₂-päästöt näkyvät taulukossa 7.

$$m_{CO_2} = Q_{osto} * P_{CO_2} \quad (11)$$

missä

m_{CO_2}	Vuosittaiset hiilidioksidipäästöt, tCO ₂ /a
Q_{osto}	Ostoenergian määrä, MWh/a
P_{CO_2}	Lämmitysmuodon ominaispäästökerroin, kgCO ₂ /MWh

TAULUKKO 7. Kiinteistöjen lämmitysjärjestelmien vuotuiset CO₂-päästöt

	Koulukeskus			Toimintakeskus		
Lämmitysratkaisu	Öljy	Maalämpö	IVLP	Öljy	Öljy/pelletti	Maalämpö
Q_{osto} (MWh/a)	125	47	42	278	Öljy = 255	104
P_{CO_2} (kgCO ₂ /MWh)	267	200	200	267	267	200
m_{CO_2} (t/a)	33,4	9,4	8,4	74,2	68,1	20,8
CO ₂ - vähenemä (t/a)	-	24	25	-	6,1	53,4

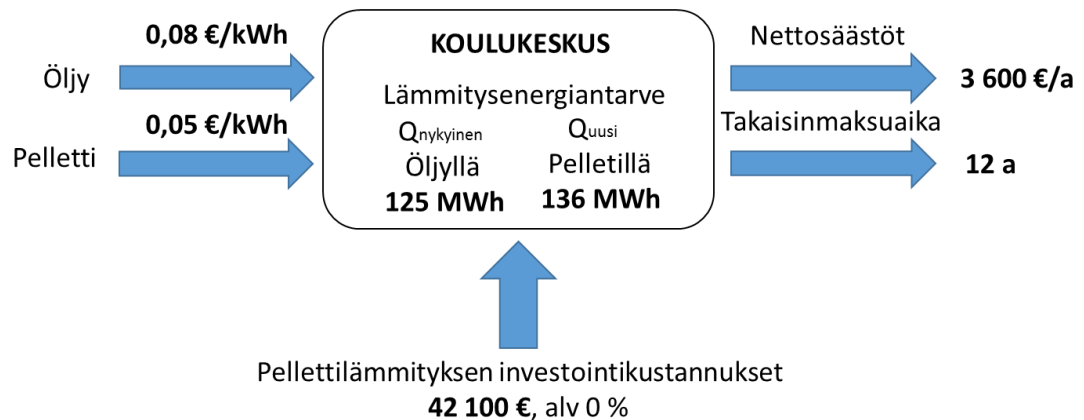
Aurinkolämpö- ja aurinkosähköjärjestelmien vuotuiset CO₂-vähenemät ovat suoraan laskettavissa niiden tuottamista energiamääristä. Jos toimintakeskus Metsätähden lämmin käyttövesi tuotetaan nykyään öljyllä, niin vuotuinen CO₂-vähenemä on **3,0 t/a**. Mikäli lämmin käyttövesi on tuotettu ilma-vesilämpöpumpulla (SCOP = 2,8), vuotuinen CO₂-vähenemä on **0,8 t/a**. Aurinkosähköjärjestelmän vuotuinen CO₂-vähenemä on **2,6 t/a**.

5.2 Takaisinmaksuajat

Takaisinmaksuajan avulla voidaan tarkastella eri investointien kannattavuuksia. Takaisinmaksuajan tulee olla lyhempi kuin investoinnin suunniteltu käyttöikä. Investointi on sitä kannattavampi, mitä lyhempi takaisinmaksuaika on. Takaisinmaksuajat on laskettu yhtälön 12 mukaisesti.

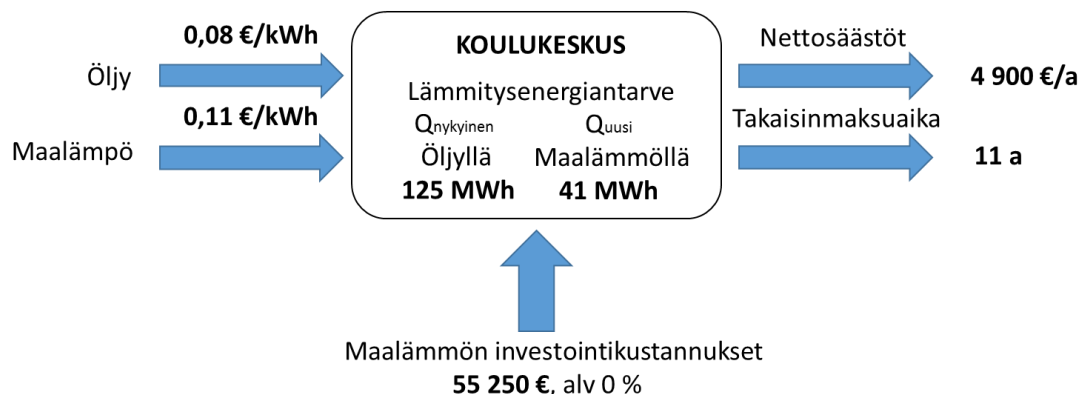
$$\frac{\text{Järjestelmän investointikustannukset, €}}{\text{Vuotuiset nettosäästöt, €/a}} = \text{Takaisinmaksuaika, a} \quad (12)$$

Koulukeskukselle tarkasteltavana on kolme lämmitysjärjestelmää, jotka ovat pellettilämmitys, maalämpö ja ilma-vesilämpöpumppu. Kuvien 6-8 takaisinmaksuajat on laskettu yhtälön 12 mukaisesti. Laatikoiden sisällä olevat lämmitysenergiantarpeet kuvaavat öljyn osalta kiinteistön nykyistä energiankulutusta ja uusien lämmitysratkaisujen osalta niiden vaatimaa lämmitysenergiantarvetta, johon on otettu huomioon järjestelmäkohtaiset lämpöhäviöt. Kuvassa 6 näkyy koulukeskuksen pellettilämmitysjärjestelmän investointikustannukset, vuotuiset nettosäästöt ja takaisinmaksuaika. Pellettilämmityksen vuotuiset nettosäästöt ovat 3 600 € ja takaisinmaksuaika 12 vuotta.



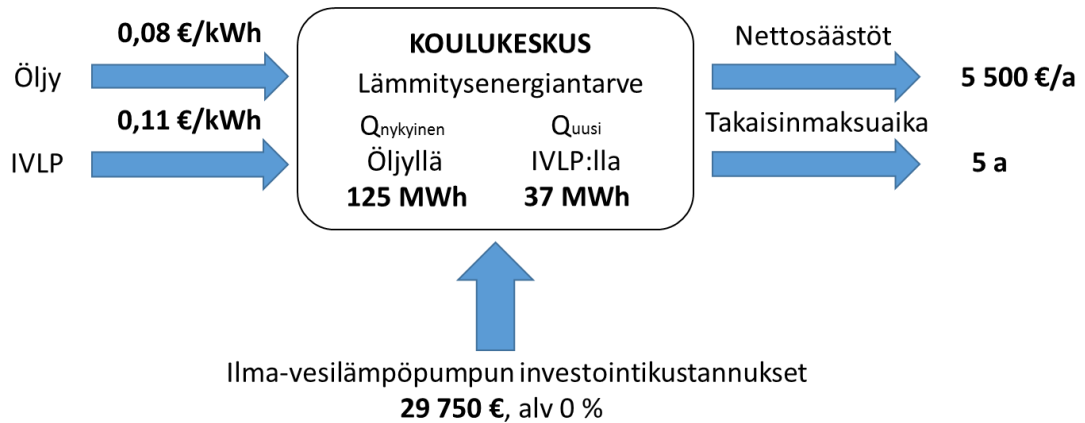
KUVA 6. Koulukeskuksen pellettilämmityksen takaisinmaksuaika

Kuvassa 7 näkyy koulukeskuksen maalämpöratkaisun investointikustannukset, vuotuiset nettosäästöt ja takaisinmaksuaika. Öljyyn verrattuna ostoenergianmäärä putoaa noin kolmannekseen ($\text{COP} = 2,5$) ja vuotuisia nettosäästöjä saadaan 4 900 €. Takaisinmaksuajaksi maalämmölle tulee 11 vuotta.



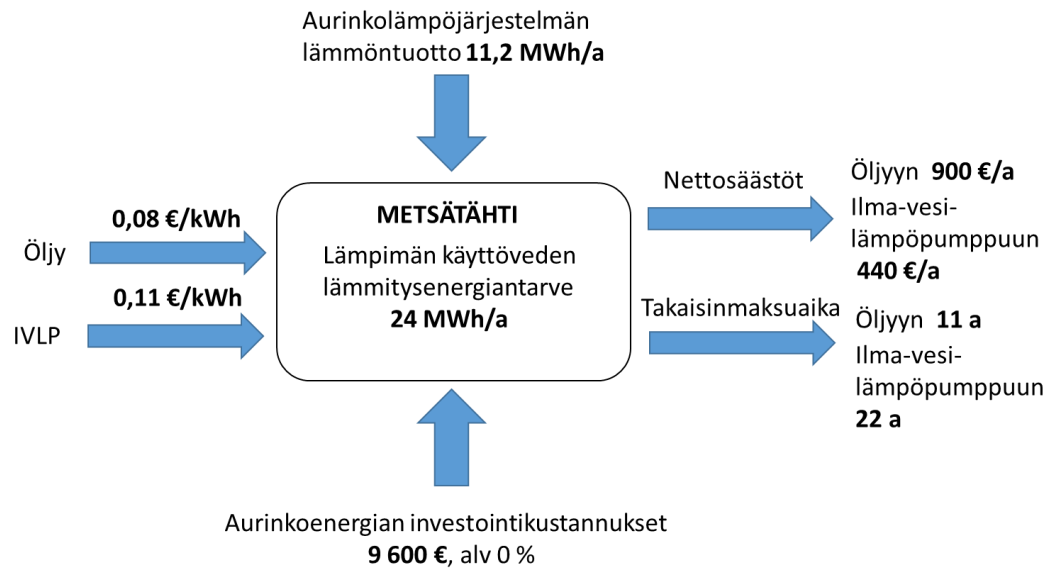
KUVA 7. Koulukeskuksen maalämpöjärjestelmän takaisinmaksuaika

Kuvassa 8 näkyy koulukeskuksen ilma-vesilämpöpumppuratkaisun investointikustannukset, vuotuiset nettosäästöt ja takaisinmaksuaika. Öljyyn verrattuna ostoenergian määrä putoaa alle kolmannekseen ($SCOP = 2,8$) ja vuotuisia nettosäästöjä saadaan 5 500 €. Takaisinmaksuajaksi tulee 5 vuotta. Lyhyeen takaisinmaksu aikaan vaikuttaa myös osaltaan ilma-vesilämpöpumppuratkaisun edullisemmat investointikustannukset.



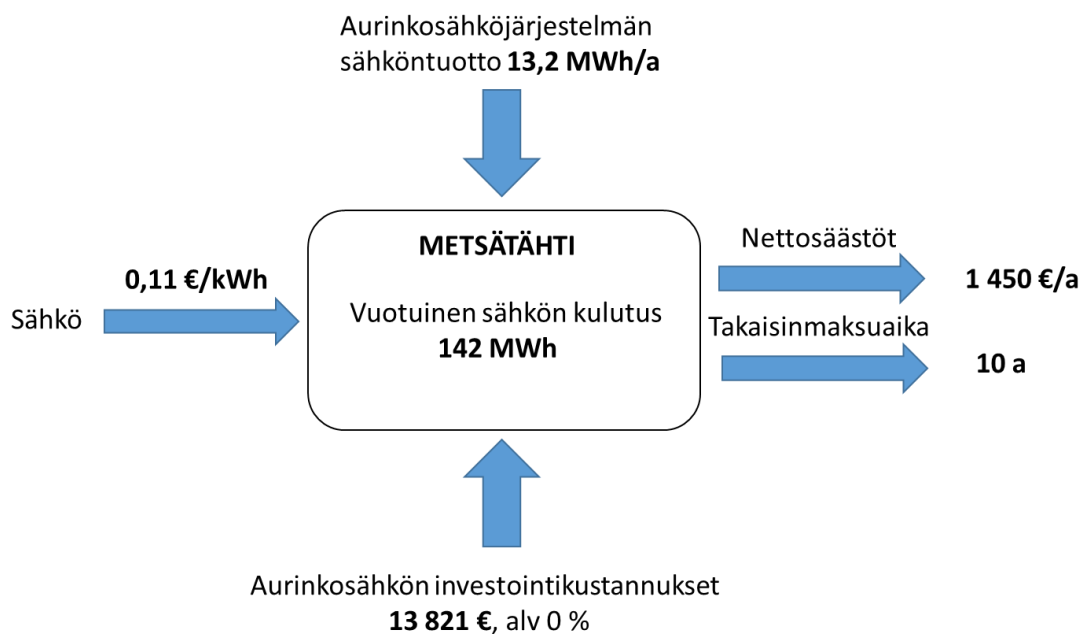
KUVA 8. Koulukeskuksen ilma-vesilämpöpumpun takaisinmaksuaika

Toimintakeskus Metsätähden tarkasteltavia järjestelmiä ovat aurinkolämpö ja aurinkosähkö. Järjestelmien takaisinmaksuajat on myös laskettu yhtälön 12 mukaisesti. Kuvassa 9 näkyy toimintakeskuksen aurinkolämpöjärjestelmän investointikustannukset, vuotuiset nettosäästöt sekä takaisinmaksuajat. Nettosäästöt ja takaisinmaksuajat on laskettu sekä öljyyn, että ilma-vesilämpöpumppuun verrattuna. Järjestelmän tuottama energiamäärä on noin puolet käyttöveden lämmittämiseen tarvittavasta energiamäärästä. Käyttöveden lämmityksen tapahtuessa öljyllä vuotuisiksi nettosäästöiksi saadaan 900 €. Ilma-vesilämpöpumpulla lämmitettäessä vuotuiset nettosäästöt jäävät puoleen tästä, mikä johtuu ilma-vesilämpöpumpun vuosihyötysuhteesta. Kun vuosihyötysuhde, eli $SCOP$ -arvo on 2,8, silloin ilma-vesilämpöpumpulle riittää 11,2 MWh:n lämmön tuottamiseen $\frac{11,2 \text{ MWh}}{2,8} = 4 \text{ MWh:n}$ energiamäärä. Aurinkolämpöratkaisun takaisinmaksuajoiksi saadaan öljyyn verrattuna 11 vuotta ja ilma-vesilämpöpumppuun verrattuna 22 vuotta. Järjestelmän takaisinmaksuajat ovat pitkiä alhaisiksi jäävistä nettosäästöistä johtuen.



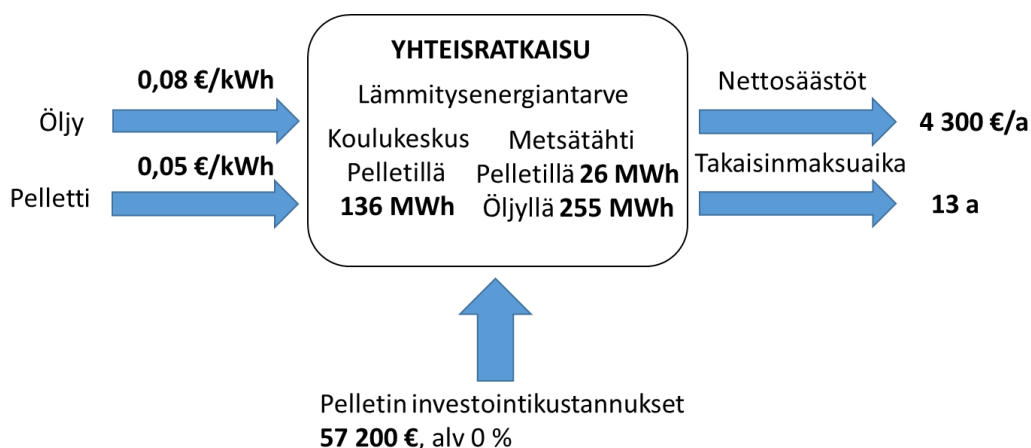
KUVA 9. Toimintakeskus Metsätähden aurinkolämpöjärjestelmän takaisinmaksuajat

Kuvassa 10 näkyy toimintakeskus Metsätähden aurinkosähköjärjestelmän investointikustannukset, vuotuiset nettosäästöt sekä takaisinmaksuajat. Järjestelmän tuottaman sähkön osuus on noin 10 % vuotuisesta sähkön kokonaiskulutuksesta. Nettosäästöjä järjestelmä tuottaa vuodessa noin 1 500 € ja takaisinmaksuajan ollessa 10 vuotta.



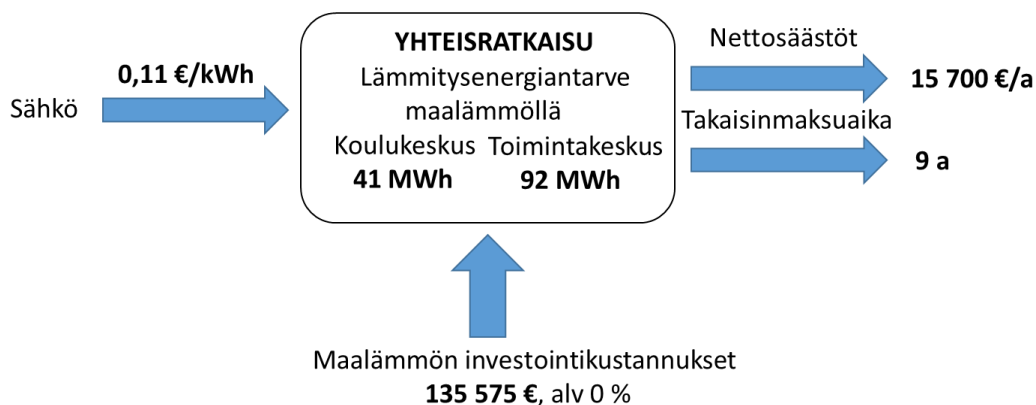
KUVA 10. Toimintakeskus Metsätähden aurinkosähköjärjestelmän takaisinmaksuaika

Molempia kiinteistöjä palvelevat yhteisratkaisuvaihtoehdot ovat pellettilämmitys ja maalämpö. Kuvassa 11 näkyy yhteispellettilämmitysratkaisun investointikustannukset, vuotuiset nettosäästöt ja takaisinmaksuaika. Laatikon sisällä olevat energiamäärät kuvastavat pelletin osalta koulukeskuksen kokonaislämmitysenergian tarvetta sekä toimintakeskuksen lämmintä käyttövetä ja öljyn osalta toimintakeskuksen kiinteistön lämmitystä. Yhteispellettijärjestelmän takaisinmaksuajaksi saadaan 13 vuotta vuotuisen nettosäästöjen ollessa 4 300 €.



KUVA 11. Molempien kiinteistöjen yhteispellettiratkaisun takaisinmaksuaika

Yhteismaalämpöratkaisun takaisinmaksuaika, vuotuiset nettosäästöt ja investointikustannukset on esitetty kuvassa 12. Maalämpöjärjestelmällä katetaan molempien kiinteistöjen kokonaislämmitysenergian tarpeet, jotka näkyvät laatikossa. Järjestelmän vuotuiset nettosäästöt ovat suuret, 15 700 €. Näin ollen takaisinmaksuajaksi saadaan yhdeksän vuotta. Kyseiselle järjestelmällä yhdeksän vuoden takaisinmaksuaika on todella hyvä, koska investointikustannukset ovat varsin suuret.



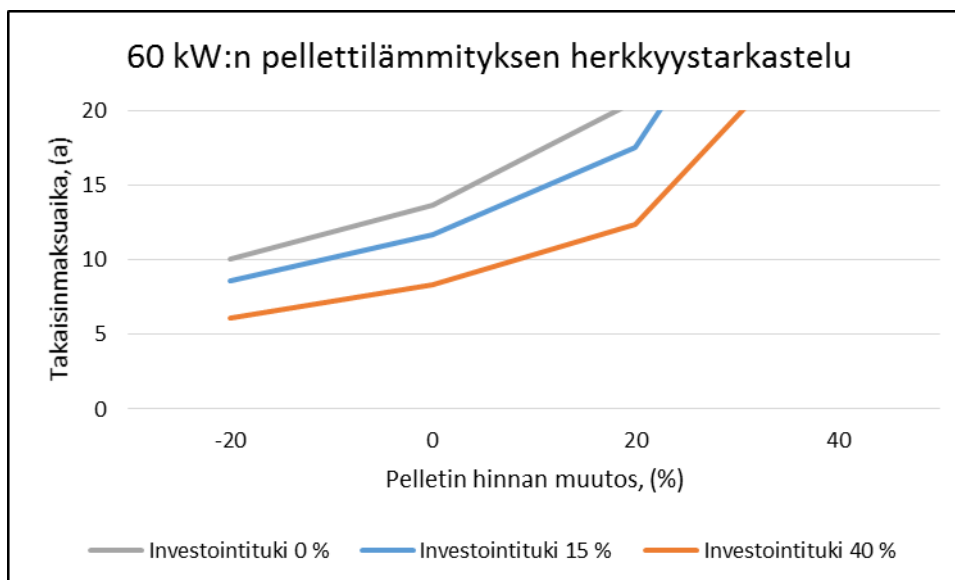
KUVA 12. Molempien kiinteistöjen yhteismaalämpöjärjestelmän takaisinmaksuaika

5.3 Herkkyystarkastelu ja pohdinta

Herkkyystarkastelun tarkoituksena on tutkia eri tekijöiden vaikutuksia investointien takaisinmaksuaikoihin. Polttoaineiden hintojen vaihtelu on yksi suurimmista takaisinmaksuaikojen pituuteen vaikuttavista tekijöistä. Polttoaineisen hintojen vaihteluiden vaikutuksia takaisinmaksuaikoihin on tarkasteltu kaavioissa 14–19 muuttamalla peruslaskelmissa käytettyjä polttoaineiden hintoja -20 %:sta +60 %:iin. Kaavioiden vaakakselien kohta 0 tarkoittaa peruslaskelmissa käytettyä hintaa.

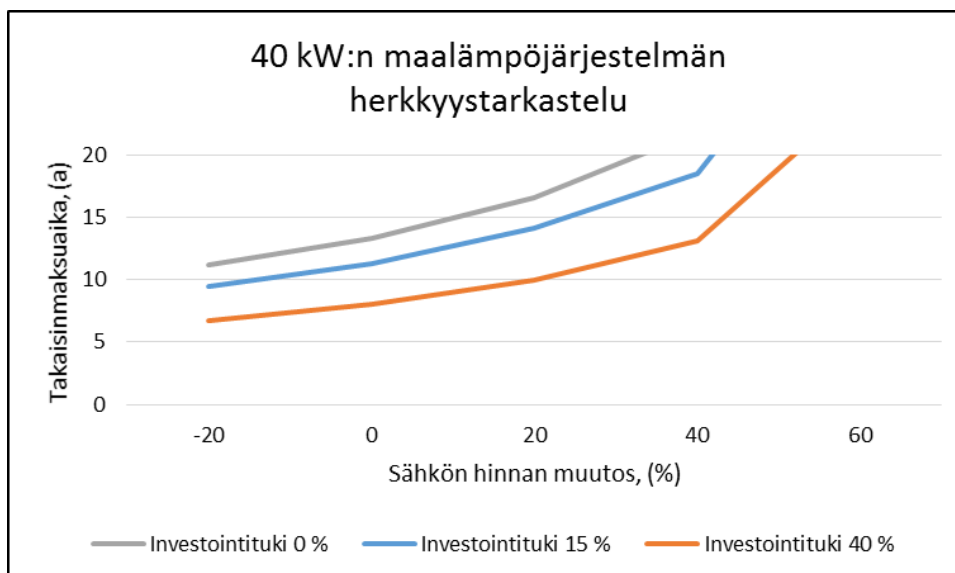
Toinen herkkyystarkastelussa huomioonotettu tekijä on Työ- ja elinkeinoministeriön myöntämä investointituki. Opinnäytetyössä halutaan myös tutkia investointitukien mahdollisten muutosten vaikutuksia takaisinmaksuaikoihin. Herkkyystarkastelussa investointitukien muutosten vaikutuksia peruslaskelmiin tarkastellaan tilanteissa, kun investointitukea ei myönnetä ja, kun myönnettävä investointituki on suurin mahdollinen eli 40 %. Peruslaskelmissa käytettiin lämmitysjärjestelmäkohtaisia investointitukiprosentteja. Kaavioiden takaisinmaksuaikojen yläraja on rajattu 20 vuoteen, jota voidaan pitää investoinnin kannattavuuden kannalta jo äärirajana. Tätä pidempiä takaisinmaksuaikoja ei ole syytä tarkastella.

Kaavioissa 14 näkyy koulukeskuksen pellettilämmityksen herkkyystarkastelu. Kaaviosta 14 havaitaan, että mahdollisella pelletin hinnan nousulla on suuri vaikutus koulukeskuksen lämmitysratkaisun valinnan kannalta. Koulukeskukselle alunalkaen järkevimmäksi vaihtoehdoksi kaavaillun pellettilämmityksen takaisinmaksuajaksi nykyisellä energian hinnalla (220,3 €/t, alv 0 %) saatiin kohtuulliset 12 vuotta. Kaaviosta 14 nähdään myös, että mikäli pelletin hinta nousee noin 20 % investointituen pysyessä ennallaan, niin pellettilämmitykseen investoimisesta tulee käytännössä kannattamatonta takaisinmaksuajan kasvaessa lähes 20 vuoteen. Pellettiin investoidessa onkin tärkeää, että pelletin hinta ei lähde nousuun. Paras takaisinmaksuaika 6 vuotta, saadaan, kun investointituki on 40 % ja pelletin hintaa laskee 20 %. Tätä tilannetta ei todennäköisesti ole, mutta investointitukiprosenttien kasvaminen mahdollistaa takaisinmaksuaikojen nopeamman lyhenemisen, kuin pelletin hinnan lasku. Tähän vaikuttaa osaltaan myös pelletin kohtuullisen vakaana pysytellyt hintataso, johon ei ole odotettavissa nopeita muutoksia, vaan pelletin hintataso jatkaa hidasta kasvuaan.



KAAVIO 14. Koulukeskuksen pellettilämmityksen takaisinmaksuajat pelletin hinnan muuttuessa (alv 0 %), kun investointituki on 0, 15 tai 40 %

Sähkön hinnan nousuun vaikuttavat tulevaisuudessa kasvavat sähkön siirt hinnat. Olettavissa kuitenkin on, että sähkön hinta ei lähde nopeasti jyrkkään nousuun, vaan jatkaa tasaista nousuaan. Koulukeskuksen maalämpöjärjestelmän takaisinmaksuaikaan sähkön hinnan hidas nouseminen ei aiheuta nopeita muutoksia (Kaavio 15). Kaaviosta 15 nähdään, että sähkön hinnan noustessa 30 % takaisinmaksuaika pitenee viidellä vuodelle. Kuitenkin sähkön hinnan noustessa 40 % tai enemmän, tapahtuu maalämpöjärjestelmän takaisinmaksuajoissa nopea käänne ylöspäin, jonka seurauksena investointi on jo kannattavuuden yläräjällä 20 vuodessa. Järjestelmän paras takaisinmaksuaika on 7 vuotta, kun investointituki on 40 % ja sähkön hinta laskee 20 %. Koska kyseisen järjestelmän takaisinmaksuaika on jo nyt 11 vuotta, niin mahdollisella investointituen muutoksella päästäisiin nopeasti alle kymmeneen vuoteen. Tätä muutosta voidaankin pitää todennäköisempänä kuin sähkön hintatason laskua. Maalämpöä voidaan kuitenkin pitää varmana ratkaisuna, koska sen takaisinmaksuaika ei muutu nopeasti sähkön hinnan muuttuessa.

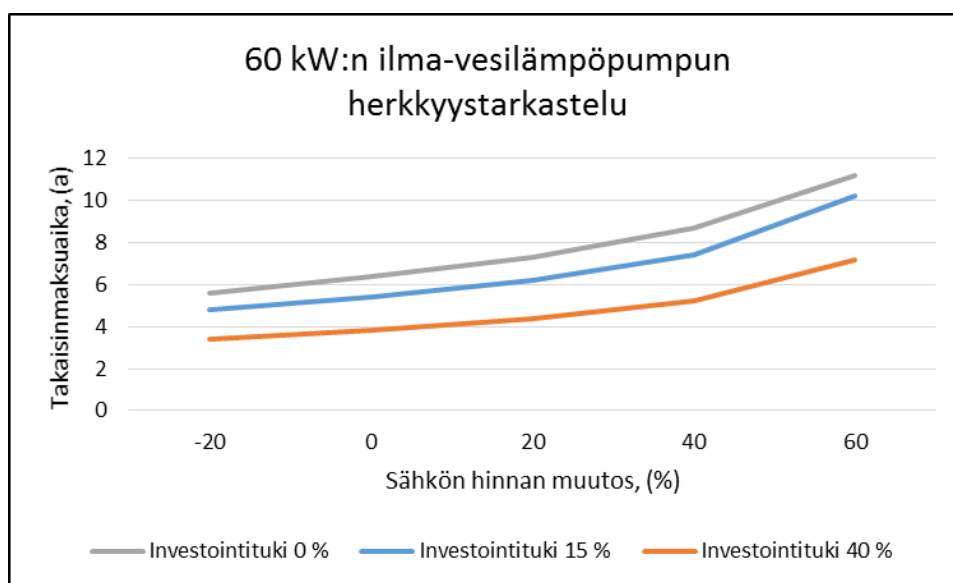


KAAVIO 15. Koulukeskuksen maalämmön takaisinmaksuajat sähkön hinnan muuttuessa (alv 0 %), kun investointituki on 0, 15 tai 40 %

Ilma-vesilämpöpumppuratkaisu ei ole yhtä altis sähkönhinnan nousulle johtuen huomattavasti suuremmista vuotuisista nettosäästöistä sekä matalammasta hankintahinnasta. Sähkön hinnan voidaan todennäköisesti olettaa nousevan 20 % seuraavan kymmenen vuoden aikana. Siinä tapauksessa ilma-vesilämpöpumpun takaisinmaksuaika pitenee vain yhdellä vuodella kuuteen vuoteen. Mikäli sähkön hinta nousee 40 % investointituen pysyessä edelleen nykyisellään, ilma-vesilämpöpumpun takaisinmaksuajat pysyvät silti alle kymmenessä vuodessa, mitä voidaan pitää hyvänä ja ratkaisua kannattavana. Ilman investointituen myöntämistäkin 20 % sähkön hinnan nousulla ilma-vesilämpöpumppu maksaa itsensä takaisin seitsemässä vuodessa. Nykyisellä sähkön hinnalla ja suurimmalla investointituella takaisinmaksuajaksi tulee neljä vuotta. Oletettavissa kuitenkin on, ettei investointitukiprosentteihin tule suuria muutoksi lähivuosina, joten ilma-vesilämpöpumpun takaisinmaksuajat pysyvät melkein muuttumattomina, vaikka sähkön hinta vaihtelisi ± 20 %. Mahdolliset investointitukiprosenttien muutokset vaikuttaisivat kuitenkin takaisinmaksuaikoihin sähkön hintamuutoksia nopeammin.

Ilma-vesilämpöpumppuhankkeeseen investoimisen haittana kuitenkin on järjestelmän riittämättömyys kylmimmillä pakkasilla, jolloin tarvitaan aina varajärjestelmä, esimerkiksi nykyinen öljykattila. Koska vanhaa öljykattilaa ei ole tarkoitus jättää paikoilleen, niin ilma-vesilämpöpumppu toimisi vain väliaikaisena hybridiratkaisuna, joka ei öljy-

kattilan poistuessa itsessään riittäisi kattamaan koulukeskuksen lämmitysenergiatarvetta. Ilma-vesilämpöpumppuratkaisua voidaan pitää kannattavana, mutta koulukeskukselle sopimattomana lämmitysratkaisuna.

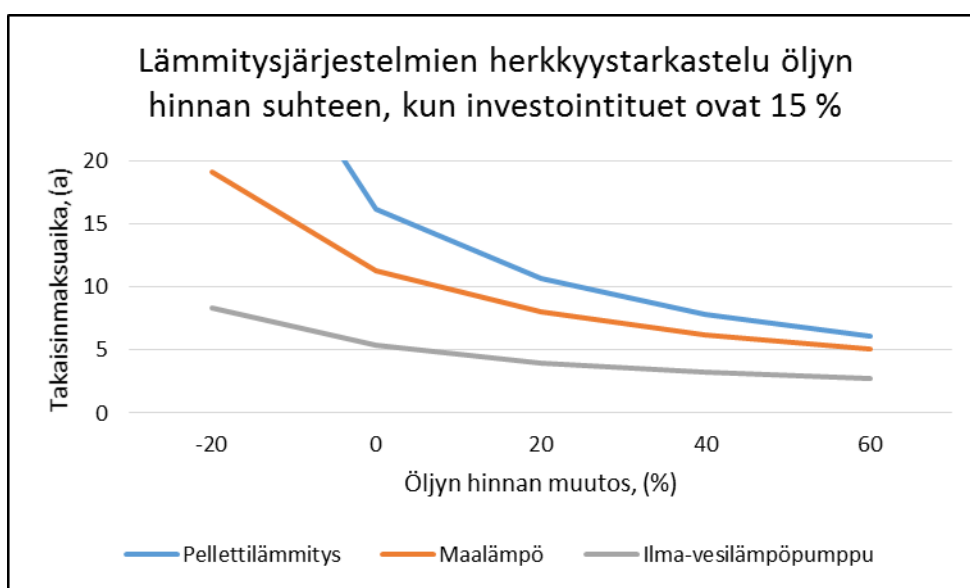


KAAVIO 16. Koulukeskuksen ilma-vesilämpöpumpun takaisinmaksuajat sähkön hinnan muuttuessa (alv 0 %), kun investointituki on 0, 15 tai 40 %

Kaaviossa 17 näkyy kevyen polttoöljyn hinnan muutosten vaikutus koulukeskuksen lämmitysjärjestelmien takaisinmaksuajoihin. Tämä tarkoittaa sitä, että kun kevyen polttoöljyn hinta nousee, niin vaihdettaessa uuteen lämmitysjärjestelmään vuotuiset nettosäästöt ovat suuremmat ja takaisinmaksuaika lyhempi. Kaavion laadinnassa on käytetty voimassa olevia lämmitysjärjestelmien investointitukiprosentteja, jotka ovat kaikilla kaavion järjestelmillä 15 %. Kaavion vaaka-akselin kohta 0 tarkoittaa lämmitysjärjestelmien takaisinmaksuajojen kannalta sitä, että ne on laskettu öljyn hinnan ollessa 0,80 €/l, alv 0 %. Kaavion 17 laadinnassa on käytetty vertailtavien lämmitysjärjestelmien osalta peruslaskennassa käytettyjä energian hintoja, jotka ovat pelletillä 220,3 €/t, alv 0 % ja sähköllä 0,11 €/kWh, alv 0 %.

Koska kevyen polttoöljyn hinta on historiallisen alhaalla, niin on hyvin todennäköistä, että sen hinta tulee nousemaan lähivuosina ainakin 20 %, jopa 40 %. Pitkällä ajanjaksolla kevyen polttoöljyn hinta voi jopa kaksinkertaistua nykyisestä. Tällöin uuden lämmitysjärjestelmän hankinta tulee entistä kannattavammaksi ja takaisinmaksuajat lyhenevät. Kuten kaaviosta 13, Energian hintojen vaihtelut 2006–2015 nähdään, niin kevyen

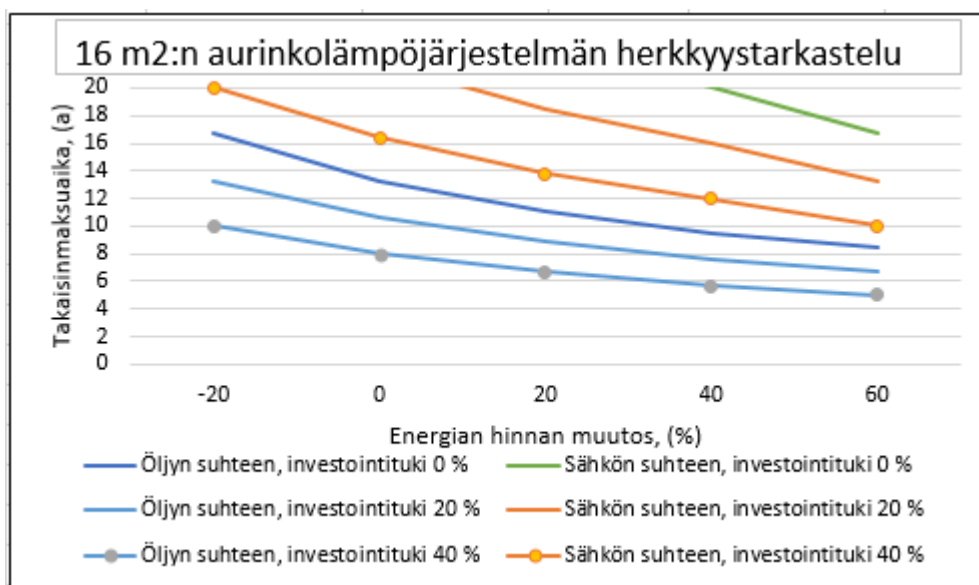
polttoöljyn hinta on kaikkein muutosherkin. Kaaviosta 17 nähdään, että kevyen polttoöljyn hinnan noustessa erot eri lämmitysjärjestelmien takaisinmaksuajoissa pienenevät. Kun kevyen polttoöljyn hinta nousee 30 %, niin kaikkien lämmitysjärjestelmien takaisinmaksuajat tippuvat alle kymmeneen vuoteen. Tämä tulee tapahtumaan mitä todennäköisemmin, ja vaikuttamaan oleellisesti järjestelmien takaisinmaksuajoihin. Kun järjestelmien takaisinmaksuajat lähenyvät toisiaan öljyn hinnan noustessa, niin silloin suurin valintaan vaikuttava tekijä on vuotuiset nettosäästöt. Maalämmöllä saadaankin kaikkein suurimmat vuotuiset säästöt. Kaaviosta nähdäänkin, että ilma-vesilämpöpumppu maksaa itsensä nopeinten takaisin, kun taas pellettilämmityksellä on pisimmät takaisinmaksuajat.



KAAVIO 17. Öljyn hinnan (alv 0 %) muutosten vaikutus koulukeskuksen lämmitysjärjestelmien takaisinmaksuajoihin investointitukien ollessa 15 %

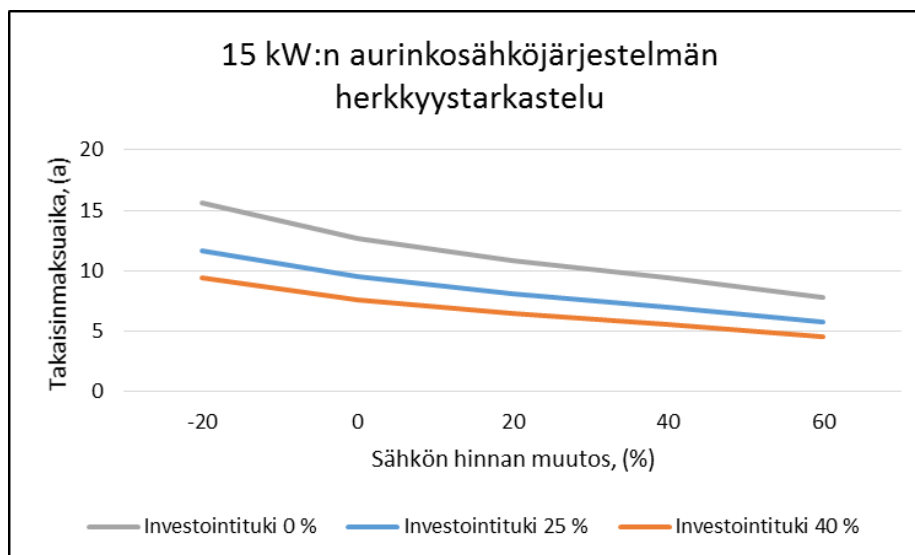
Kaaviossa 18 näkyy toimintakeskus Metsätähden aurinkolämpöratkaisun herkkyytarkastelu. Aurinkolämpöjärjestelmän herkkyytarkastelussa on vertailtu, kuinka käyttöveden aiempi lämmittäminen kevyellä polttoöljyllä tai ilma-vesilämpöpumpulla (sähkö) vaikuttaa aurinkolämpöjärjestelmän takaisinmaksu aikaan. Kaaviosta 18 nähdään, että mitä enemmän öljyn/sähkön hinta nousee, niin sitä nopeammin aurinkolämpöjärjestelmä maksaa itsensä takaisin. Aurinkolämpöjärjestelmää ei tule lisätä ilma-vesilämpöpumpulla lämmitettävän käyttöveden yhteyteen, koska investointi on täysin kannattamaton. Lyhimmilläänkin takaisinmaksuaika on kymmenen vuotta, kun investointituki olisi suurin mahdollinen ja sähkön hinta olisi noussut 60 %. Käyttöveden aiemman lämmittämisen tapahtuessa öljyllä investoinnista tulee hieman kannattavampi.

Varsinkin, kun ottaa huomioon, että öljyn hinnan noustessa 30 % nykyisellä investointituella takaisinmaksuajaksi saadaan jo kahdeksan vuotta ja suurimmalla investointituella kuusi vuotta. Koska aurinkolämpöjärjestelmästä ei aiheudu investoinnin jälkeen enää kustannuksia, niin investoinnista tulee sitä kannattavampi mitä enemmän kevyen polttoöljyn hinta nousee. Tätä voidaan pitää todennäköisempänä, kuin investointitukien muutosta. Aurinkolämmön investointitukiprosentti saattaa kuitenkin tulevaisuudessa nousta uusiutuvan energian hyödyntämisasteen noustessa, jolloin takaisinmaksuajat lyhenevät entisestään.



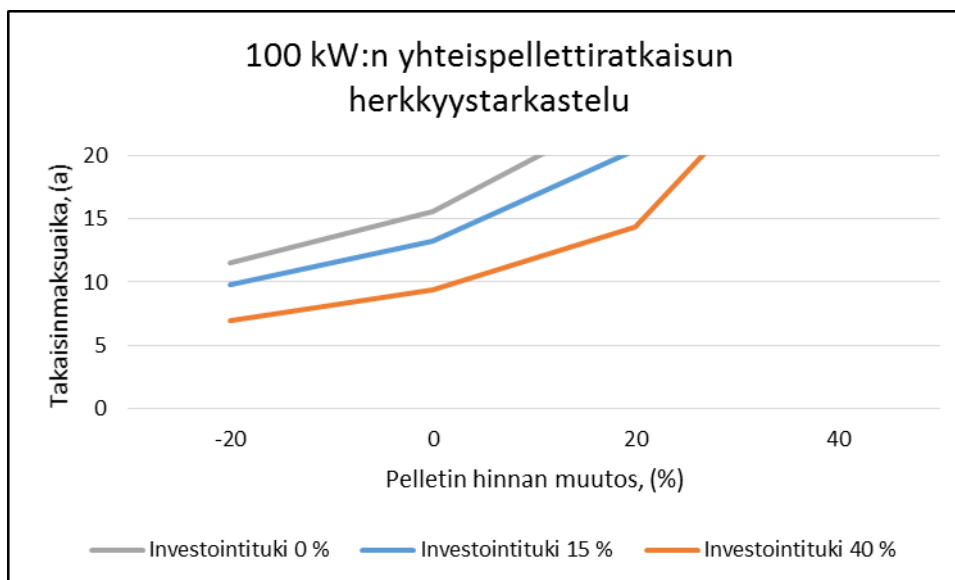
KAAVIO 18. Toimintakeskuksen aurinkolämpöjärjestelmän takaisinmaksuajat öljyn ja sähkön hinnan muuttuessa (alv 0 %), kun investointituki on 0, 20 tai 40 %

Toimintakeskus Metsätähden aurinkosähköjärjestelmän herkkyytarkastelu näkyy kaaviossa 19. Nykyisellä sähkön hinnalla takaisinmaksuajaksi saadaan kymmenen vuotta. Kuitenkin jo 20 % sähkön hinnan nousu lyhentää takaisinmaksuaikaa kahdeksaan vuoteen. Koska aurinkosähköjärjestelmästä ei myöskään aiheudu investointikustannusten jälkeen muita kustannuksia, on järjestelmä sähkön hinnan noustessa yhä kannattavampi. Aurinkosähköjärjestelmien investointitukiin ei myöskään ole odotettavissa muutoksia, joten sähkön hinnan nousulla on suurempi vaikutus takaisinmaksuaikoihin. Aurinkosähköjärjestelmän etuna on se, että paneelien lisääminen jälkikäteen on kohtuullisen helppoa. Mikäli aurinkosähköpaneelien investointikustannukset nousevat rajusti, voidaan myös miettiä, onko enää järkevää investoida järjestelmään, joka tuottaa vain murto-osan kiinteistön vuotuisesta sähkön kulutuksesta.



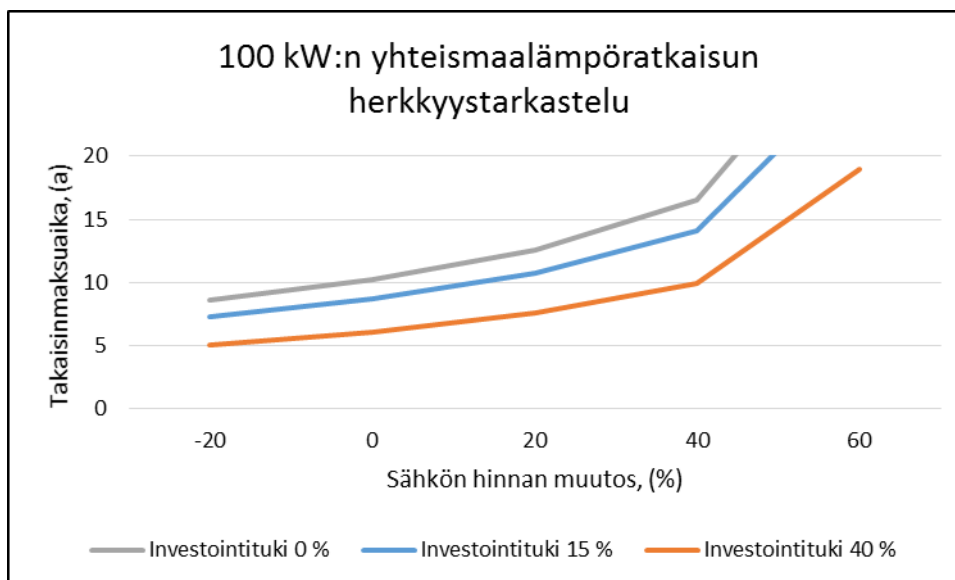
KAAVIO 19. Toimintakeskuksen aurinkolämpöjärjestelmän takaisinmaksuajat sähkön hinnan muuttuessa (alv 0 %), kun investointituki on 0, 25 tai 40 %

Yhteispellettiratkaisun herkkyystarkastelu on esitetty kaaviossa 20, jossa tarkastellaan vain pelletin hinnan muutosta, koska kevyen polttoöljyn hinnan noustessa 20 % investointi ei tuota enää vuotuisia nettosäästöjä ja on näin ollen kannattamaton. Herkkyystarkastelusta voidaan havaita, että nykyisellä investointituella 20 %:n pelletin hinnan nousu nostaa investoinnin kannattavuuden ylärajalle. Tällöin takaisinmaksuajaksi saadaan 20 vuotta. Pelletin hintataso on kuitenkin pysytellyt vuosien ajan melko vakaana, joten pelletin hinnan nopeaa nousua voidaan pitää varsin epätodennäköisenä. Mahdollinen 10 % hinnan nousu on kuitenkin todennäköistä pitkällä aikavälillä, jolloin takaisinmaksuaika pitenee jo 17 vuoteen. Lyhimmillään järjestelmän takaisinmaksuaika on seitsemän vuotta, kun pelletin hinta on laskenut 20 % ja investointituki on suurin mahdollinen. Siihen nähden tämänhetkistä 13 vuoden takaisinmaksuaikaa voidaan pitää kohtuullisena. Pelletin hinnan muutoksia voidaankin pitää merkittävämpänä tekijänä takaisinmaksuaikojen muutoksiin, kuin investointitukien muutoksia. Nykyisellä pelletin hinnalla investointituen kasvaessa esimerkiksi 20 %:iin, jää sen vaikutus järjestelmän takaisinmaksuaikaan vähäiseksi, kun verrataan esimerkiksi 10 %:n pelletin hinnan nousun vaikutukseen, jolloin takaisinmaksuaika kasvoi neljä vuotta. Yhteispellettijärjestelmän voidaan todeta olevan pelletin hintatason nousun suhteen riskialtis investointi, koska järjestelmän takaisinmaksuaika pitenee nopeasti kannattamattomuuden rajalle.



KAAVIO 20. Koulukeskuksen kokonais- ja toimintakeskuksen lkv:n lämmitysenergian tarvetta palvelevan yhteispellettiritkaisun takaisinmaksuajat pelletin hinnan muuttuessa (alv 0 %), kun investointituki on 0, 15 tai 40 %

Yhteismaalämpöratkaisun herkkyystarkastelu näkyy kaaviossa 21. Siinä on huomioitu kummankin kiinteistön osalta sähkövastusten osuudet (5 %) lämmitysenergian tarpeesta. Nykyinen yhdeksän vuoden takaisinmaksuaika on todella hyvä, johtuen noin 16 000 €:n vuotuisista nettosäästöistä. Parhaimmillaankin järjestelmän takaisinmaksuajoissa päästään viiteen vuoteen, kun investointituki on suurin mahdollinen ja sähkön hinta laskee 20 %. Kaaviosta 21 nähdään myös, että nykyisellä investointituella takaisinmaksuaika pysyy alle 15 vuodessa sähkön hinnan noustessa 40 %. Tätä voidaan pitää kaikkein todennäköisimpänä takaisinmaksuajan muutossuuntana, sillä investointitukiin ei todennäköisesti ole odotettavissa muutoksia myöskään maalämmön osalta. Kannattavuuden ylärajan investointi saavuttaa nykyisellä investointituella, kun sähkön hinta nousee noin 45 %. Yhteismaalämpöratkaisun vahvuutena voidaan pitää todella suuria vuotuisia nettosäästöjä sekä lyhyttä takaisinmaksuaikaa, joka ei ole altis sähkön hinnan vaihteluille.



KAAVIO 21. Molempia kiinteistöjä palvelevan maalämpöratkaisun takaisinmaksuajat sähkön hinnan muuttuessa (alv 0 %), kun investointituki on 0, 15 tai 40 %

Opinnäytetyössä käytetyistä lämpötehon pysyvyyskäyristä ja lasketuista takaisinmaksuajoista olisi mahdollisesti saatu tarkempia, mikäli laskennan pohjana olisivat olleet kiinteistökohtaiset tuntitehotiedot. Niitä ei kuitenkaan ollut mahdollista saada, joten mahdollisia takaisinmaksuaikojen vaihteluja havainnollistettiin herkkyystarkastelulla. Herkkyystarkastelusta havaittiin, että polttoaineiden hintojen vaihtelulla sekä mahdollisilla investointitukiprosenttien muutoksilla oli takaisinmaksuaikoihin merkittäviä vaikutuksia. Koulukeskuksen nykyinen öljykattila on vuodelta 2002, joten kattilan ja lämmitysjärjestelmän uusimiseen ei ole akuuttia tarvetta aivan lähivuosina. Lämmitysjärjestelmän uusinta on kuitenkin järkevää tehdä kymmenen vuoden sisällä, jolloin nykyinen järjestelmä tulee käyttöikänsä päähän.

6 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

6.1 Yhteenveto

Opinnäytetyössä vertailtiin Mikkelin Tilakeskuksen hallinnoimille, Suomenniemen koulukeskukselle sekä toimintakeskus Metsätähdelle uusia uusiutuvaan energiaan pohjautuvia lämmitys- ja energianhankintaratkaisuja nykyisten öljylämmitysten tilalle. Koulukeskuksen osalta vertailtavana oli kolme eri lämmitysjärjestelmää, jotka olivat pellettilämmitys, maalämpö ja ilma-vesilämpöpumppu. Toimintakeskus Metsätähden

vertailtavia lämmitys- ja energianhankintaratkaisuja olivat aurinkolämpö ja aurinkosähkö. Toimintakeskus Metsätähteen oli jo asennettu ilma-vesilämpöpumppu, joka on ollut osittain toiminnassa lokakuusta 2015 lähtien.

Lisäksi työssä tarkasteltiin mahdollisia kiinteistöjen yhteisratkaisuja, joista potentiaalisimmat olivat pellettilämmitys ja maalämpö. Yhteispellettilämmityksen tarkoituksena oli vastata koulukeskuksen kokonaislämmitysenergian tarpeesta ja toimintakeskuksen osalta vain lämpimästä käyttövedestä, joka kuljetetaan toimintakeskukselle maanalaista yhdysputkea pitkin. Maalämpöratkaisussa molempia kiinteistöjä palvelevat yhteiset lämpökaivot sekä kiinteistökohtaiset maalämpöpumput. Opinnäytetyön alussa tarkoituksena oli myös tarkastella mahdollista paikallista kaukolämpöverkostoa, jota Etelä-Savon Energia Oy oli aiemmin kaavaillut alueelle. Koska hanke ei ollut edennyt hajallaan olevan kiinteistömäärän vuoksi ja olisi mahdoton toteuttaa kannattavasti, jätettiin opinnäytetyössä kaukolämmön tarkastelu kokonaan huomioimatta.

Uusien järjestelmien kannattavuuksia tarkasteltiin niiden investointikustannusten ja vuotuisten nettosäästöjen kautta. Näiden tietojen avulla voitiin laskea kaikkien järjestelmien takaisinmaksuajat. Pääpaino lämmitysjärjestelmien kannattavuuden ja keskinäisen edullisuuden arvioinnissa oli takaisinmaksuajoissa ja vuotuisissa nettosäästöissä. Koska energialähteiden- ja erityisesti kevyen polttoöljyn matalat hinnat vaikuttivat osaltaan takaisinmaksuajoihin, tehtiin opinnäytetyössä järjestelmien takaisinmaksuajoille herkkyystarkastelu. Herkkyystarkastelussa selvitettiin energian hintojen sekä investointitukien mahdollisten muutosten vaikutuksia järjestelmien takaisinmaksuajoihin ja keskinäiseen kannattavuuteen.

6.2 Johtopäätökset

Koulukeskukselle parhaaksi lämmitysjärjestelmäksi osoittautui maalämpö, joka on varmatoiminen ja investoinnin takaisinmaksuaika ei pitene nopeasti sähkön hinnan kasvessa. Lisäksi maalämmöllä saadaan suuremmat vuotuiset nettosäästöt kuin pellettilämmityksellä, joiden ansiosta takaisinmaksuajaksi saadaan kohtuulliset 11 vuotta. Maalämpöön siirtyminen on ajankohtaista jo nyt tai viimeistään, kun nykyinen öljykattila tulee käyttöikänsä päähän.

Toimintakeskuksen aurinkolämpöjärjestelmää ei ole välttämätöntä toteuttaa lähivuosina, joten voidaan odottaa mahdollista kevyen polttoöljyn hinnan nousua, jolloin järjestelmän takaisinmaksuaika lyhenee. Aurinkolämpöön ei kuitenkaan ole suositeltavaa investoida, mikäli toimintakeskus Metsätähden öljylämmitys vaihdetaan maalämpöön, jolla vastataan kiinteistön kokonaislämmitysenergian tarpeesta. Aurinkolämpöjärjestelmän osalta voitaisiinkin odottaa kiinteistön uuden lämmitysjärjestelmän valintaa. Aurinkosähköjärjestelmän investoiminen toimintakeskukseen todettiin suuren sähkön kulutuksen vuoksi kannattavaksi, mutta ei kiireelliseksi toimenpiteeksi.

Vertailtavista yhteisratkaisuksista pellettilämmityksen vuotuiset nettosäästöt osoittautuivat vähäisiksi, minkä takia hanketta ei toteuteta. Toteuttamiskelpoiseksi osoittautui maalämpöratkaisu, jonka takaisinmaksuajaksi saatiin yhdeksän vuotta. Yhteismaalämpöratkaisun etu on se, että myös koulukeskukselle parhaaksi ratkaisuksi osoittautui maalämpö sekä se, että maalämpöratkaisu toteutetaan yhteisillä lämpökaivoilla. Yhteismaalämpöratkaisuun päädyttäessä toimintakeskuksen aurinkolämpöhanke jätetään toteuttamatta. Kun molempien kiinteistöjen nykyiset öljykattilat tulevat kymmenen vuoden sisällä käyttöikänsä päähän, tai kiinteistöjen lämmitysjärjestelmien vaihto on muuten ajankohtaista, niin on selvää, että molempien kiinteistöjen uudeksi lämmitysjärjestelmäksi valitaan maalämpö.

LÄHTEET

/1/ Seppänen, Olli 2001. Rakennusten lämmitys. Helsinki: Suomen LVI-liitto ry

/2/ VAPO 2005. Ajatuksia ja ohjeita taloudelliseen puulämmitykseen.

/3/ Puhakka, Asko, Alanen, Veli-Matti, Kokkonen, Anssi, Nalkki, Janne & Rousku, Petri 2003. Pellettilämmitysopas, perustietoa pellettilämmityksestä. Helsinki: Motiva Oy.

/4/ Lämmitystarveluku eli astepäiväluku. 2016. Ilmatieteenlaitos. WWW-dokumentti. <http://ilmatieteenlaitos.fi/lammitystarveluvut>. Päivitetty 4.1.2016. Luettu 4.1.2016. Viitattu 4.1.2016.

/5/ Polttoaineiden lämpöarvot, hyötysuhteet ja hiilidioksidin ominaispäästökertoimet sekä energian hinnat. 2010. Motiva Oy. WWW-dokumentti. http://www.motiva.fi/files/3193/Polttoaineiden_lampoarvot_hyotysuhteet_ja_hiilidioksidin_ominaispaastokertoimet_seka_energianhinnat_19042010.pdf. Päivitetty 19.4.2010. Luettu 26.12.2015. Viitattu 20.1.2016.

/6/ Laskukaavat: Lämmitysenergiankulutus. 2015. Motiva Oy. WWW-dokumentti. http://www.motiva.fi/julkinen_sektori/energiankayton_tehostaminen/kiinteistojen_energianhallinta/kulutuksen_normitus/laskukaavat_lammitysenergiankulutus. Päivitetty 16.1.2015. Luettu 26.12.2015. Viitattu 20.1.2016.

/7/ FinSolar 2015. <http://www.finsolar.net/>. Päivitetty 2015. Luettu 12.2.2016. Viitattu 12.2.2016.

/8/ Pellettilämmityksen kustannuslaskuri. 2015. Pellettienergia. WWW-dokumentti. <http://pellettienergia.fi/default.asp?sivuID=28931&item=component;/modules/laskuri/laskuri.asp>. Päivitetty 2015. Luettu 10.2.2016. Viitattu 10.2.2016.

/9/ Tuottajahintaindeksit 2015-2010. 2015. Tilastokeskus. WWW-dokumentti.
<http://www.stat.fi/til/thi/2015/index.html>. Päivitetty 23.12.2015. Luettu 28.12.2015. Viitattu 28.12.2015.

/10/ Rakennusten energiatehokkuus, määräykset ja ohjeet 2012. D3 Suomen rakentamismääräyskokoelma. PDF-dokumentti.
http://www.finlex.fi/data/normit/37188-D3-2012_Suomi.pdf. Päivitetty 19.8.2014. Luettu 20.1.2016. Viitattu 20.1.2016.

/11/ Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta, ohjeet 2012. D5 Suomen rakentamismääräyskokoelma. PDF-dokumentti.
[file:///C:/Users/omistaja/Downloads/D5-17-5-2013-final-su%20\(8\).pdf](file:///C:/Users/omistaja/Downloads/D5-17-5-2013-final-su%20(8).pdf). Päivitetty 17.5.2013. Luettu 20.1.2016. Viitattu 20.1.2016.

/12/ Ilma-vesilämpöpumppu, UVLP. 2015. Motiva Oy. WWW-dokumentti.
http://www.motiva.fi/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/ilma-vesilampopumppu_uvlp. Päivitetty 30.7.2015. Luettu 2.2.2016. Viitattu 2.2.2016.

/13/ Rakennusten paloturvallisuus, määräykset ja ohjeet 2011. E1 Suomen rakentamismääräyskokoelma. PDF-dokumentti.
http://www.finlex.fi/data/normit/37126-E1_2011-fi.pdf. Päivitetty 6.4.2011. Luettu 15.2.2016. Viitattu 15.2.2016.

/14/ Kattilahuoneiden ja polttoainevarastojen paloturvallisuus, ohjeet 2005. E9 Suomen rakentamismääräyskokoelma. PDF-dokumentti.
<http://www.finlex.fi/data/normit/28202-E9su2005.pdf>. Päivitetty 22.3.2005. Luettu 15.2.2016. Viitattu 15.2.2016.

/15/ Energiatuki. 2016. Työ- ja elinkeinoministeriö. WWW-dokumentti.
<https://www.tem.fi/energia/energiatuki>. Päivitetty 3.2.2016. Luettu 9.3.2016. Viitattu 9.3.2016.

/16/ Rakennusten energianlaskennan testivuosi 2012 ja arviot ilmastonmuutoksen vaikutuksista. 2011. Ilmatieteenlaitos. PDF-dokumentti.

http://ilmatieteenlaitos.fi/c/document_library/get_file?uuid=827685fa-942d-4727-abb3-ae2877e55a99&groupId=30106. Päivitetty 2011. Luettu 23.2.2016. Viitattu 4.3.2016.

/17/ Laskuesimerkki, aurinkolämpöjärjestelmä. 2016. Solar Arena. WWW-dokumentti. <http://demo1.solar-arena.com/>. Päivitetty 7.3.2016. Luettu 7.3.2016. Viitattu 7.3.2016.

/18/ Laskuesimerkki, aurinkosähköjärjestelmä. 2016. Solar Arena. WWW-dokumentti. <http://demo1.solar-arena.com/>. Päivitetty 10.3.2016. Luettu 10.3.2016. Viitattu 10.3.2016.

/19/ Kaukolämmön kysyntäjousto. 2015. Energiateollisuus. PDF-dokumentti. http://energia.fi/sites/default/files/kaukolammon_kysyntajousto_loppuraportti_valor.pdf. Päivitetty 31.8.2015. Luettu 25.2.2016. Viitattu 4.3.2016.

/20/ Investointien edullisuusvertailu. 2007. Kuntaliitto. PowerPoint-esitys. <http://www.kunnat.net/fi/haku/sivut//results.aspx?k=investointien%20edullisuus-vertailu>. Päivitetty 25.5.2007. Luettu 23.3.2016. Viitattu 23.3.2016.

/21/ Öljytuotteiden kuluttajahintaseuranta vuodesta 2000 alkaen. 2015. Öljy ja biopolttoaineala. <http://www.oil.fi/fi/tilastot-1-hinnat-ja-verot/11-oljytuotteiden-kuluttajahintaseuranta>. Päivitetty maaliskuu 2016. Luettu 28.12.2015. Viitattu 28.12.2015.

/22/ Kuluttajapelletin hintaa tilastoidaan. 2015. Pellettienergia. Energian hintakehitys 2002-2015-taulukko. <http://www.pellettienergia.fi/Pelletin%20hinta-%20ja%20tilastotietoja>. Päivitetty 15.1.2015. Luettu 23.3.2016. Viitattu 23.3.2016.

/23/ Hintatilastot. 2015. Energiavirasto. WWW-dokumentti. <http://www.sahkonhinta.fi/summariesandgraphs>. Päivitetty 24.3.2016. Luettu 24.3.2016. Viitattu 24.3.2016.

Pellettilämmityksen kustannuslaskuri

Kiinteistön tiedot

Rakennustilavuus:	4390	m ³	?
Huipputeho:	25	W/m ³	?
Ominaiskulutus:	24.8	kWh/m ³	?
Liittymisteho:	109.8	kW	?
Vuosienergia:	108.9	MWh	?

Polttoaineiden hinnat

Pelletti:	220.3	€/tn	?
Öljy	80	c/l	?
Sähkö	11	c/kwh	?
Ajantasaiset hinnat:			
Pelletti, öljy, suorasähkölämmitys, osittain varaava sähkölämmitys			

Vuotuiset polttoainekustannukset

	Pelletti	Öljy, vanha kattila	Öljy, uusi kattila	Sähkö
Hyötysuhde:	80 %	75 %	87 %	99 %
Tuotettu energia:	136.1 MWh/a	145.2 MWh/a	125.2 MWh/a	110.0 MWh/a
PA:n energiasisältö:	4.75 MWh/tn	10 MWh/tn	10 MWh/tn	
Polttoaineentarve:	28.7 tn/a	14.5 tn/a	12.5 tn/a	
Yhteensä:	6322.6 €/a	11600.0 €/a	10000.0 €/a	12100.0 €/a
Vuotuinen säästö pellettilämmityksellä:		5277.4 €/a	3677.4 €/a	5777.4 €/a

Pellettivaraston koko

Varaston pituus:	3	m	
Varaston leveys:	3	m	?
Varaston korkeus:	3.35	m	
Varaston bruttilavuus:	30.2	m ³	?
Varaston nettolavuus:	21.1	m ³	?
Varastoon sopiva pellettimäärä:	14.1	tn	?
Varaston riitto:	6	kk	
Puhallusautotäytössä tulisi varaston olla kooltaan vähintään 7 m ³			

Aurinkolämpöjärjestelmän mitoitus esimerkki



Solar Arena Laskuriesimerkki

SOLAR-ARENA.com

Aurinkoenergiälaskelma

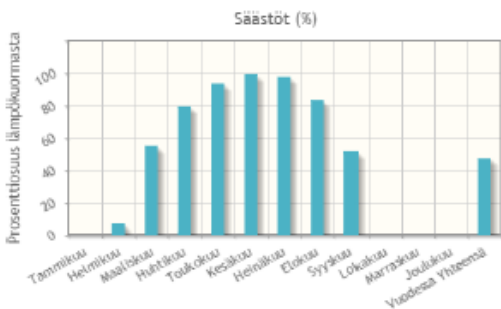
Aurinkolämpökeräimet (prosenttiosuus rakennuksen lämpökuormasta)

Laskennassa käytetyt yhteiset tiedot	
Paikkakunta/Koordinaatit, Ympäristö	Suomenniemi, Maaseutu
Henkilöiden Lukumäärä	10
Lämmitetty nettoala (m²)	1000
Kerrosten lukumäärä	1
Sisälämpötila (°C)	21
Päivittäinen käyttöveden kulutus per hlö (l)	100

Tuote	Paneelien/Keräimien Määrä (kpl)	Kallistuskulma (0-90°)	Varjostuskerroin (%)	Suuntaus
Aurinkolämpökeräin 2	8	35	0	0 (Etelä)

Prosenttiosuus lämpökuormasta

Tam	Hel	Maa	Huh	Tou	Kes	Hei	Elo	Syy	Lok	Mar	Jou	Vuodessa Yhteensä
0	6.9	54.9	79.4	93.6	99.3	97.8	83.4	51.6	0	0	0	47.5



Aurinkosähköjärjestelmän mitoitusesimerkki



Solar Arena Laskuriesimerkki

SOLAR-ARENA.com

Aurinkoenergiälaskelma

Aurinkosähköpaneelit (tuotetut kilowattitunnit ja säästöprosentti annetusta kokonaiskulutuksesta)

Laskennassa käytetyt yhteiset tiedot	
Paikkakunta/Koordinaatit, Ympäristö	Suomenniemi, Maaseutu
Ilmoitettu Sähkön Kulutus Rakennuksessa (kWh)	141500

Tuote	Paneelien/Keräimien Määrä (kpl)	Kallistuskulma (0-90°)	Varjostuskerroin (%)	Suuntaus
Aurinkosähköpaneeli 250W	57	35	0	0 (Etelä)

Tuotettu Energia (MWh)

Tam	Hel	Maa	Huh	Tou	Kes	Hei	Elo	Syy	Lok	Mar	Jou	Vuodessa Yhteensä
240.9	609.2	1209.4	1673.2	2042.3	2020.3	1924.8	1562	1013	527.7	228	40.1	13090.9

Säästöt (%)

Tam	Hel	Maa	Huh	Tou	Kes	Hei	Elo	Syy	Lok	Mar	Jou	Vuodessa Yhteensä
2	5.2	10.3	14.2	17.3	17.1	16.3	13.2	8.6	4.5	1.9	0.3	9.3

